



**Mauro Gabriel  
Henriques Martins  
Ribeiro**

**REALIDADE VIRTUAL: PLATAFORMA PARA  
ESTUDOS COM UTILIZADORES**

---

---



**Mauro Gabriel  
Henriques Martins  
Ribeiro**

**REALIDADE VIRTUAL: PLATAFORMA PARA  
ESTUDOS COM UTILIZADORES**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Computadores e Telemática (M.I.E.C.T.), realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Beatriz Sousa Santos, Professora Associada com Agregação e do Professor Doutor Paulo Miguel Dias, Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

---

---

---

Dedico este trabalho à minha família.

---



---

**o júri**

presidente

**Prof. Dr. Joaquim João Estrela Ribeiro Silvestre Madeira**

Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da  
Universidade de Aveiro

vogais

**Prof. Dr. Frutuoso Gomes Mendes da Silva**

Professor Auxiliar do Departamento de Informática da Universidade da Beira Interior

**Prof. Dra. Maria Beatriz Alves de Sousa Santos**

Professora Associada com Agregação do Departamento de Electrónica,  
Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

**Prof. Dr. Paulo Miguel de Jesus Dias**

Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e  
Informática da Universidade de Aveiro

---

---

---



---

## Agradecimentos

*Gostaria de expressar os meus agradecimentos a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que esta dissertação de Mestrado fosse hoje realidade.*

*À Professora Doutora Beatriz Sousa Santos, minha orientadora e ao Professor Doutor Paulo Miguel meu co-orientador, pelos ensinamentos transmitidos, pelo incentivo, disponibilidade, orientação e conselhos que me prestaram ao longo da dissertação.*

*Aos meus amigos, em particular aos meus parceiros de casa, pela motivação e apoio.*

*E, de uma forma muito especial, aos meus pais, irmão, avós, tios, e a toda a minha família.*

*É a todos vós que dedico esta minha dissertação.*

*Mauro Ribeiro*

---



---

**Palavras-chave**

Realidade Virtual, Estudos com utilizadores, *Head Mounted Display*, Dispositivos de interacção, Software de Realidade Virtual

**Resumo**

Existe uma variedade muito grande de dispositivos de interacção que se podem utilizar em sistemas de Realidade Virtual, no entanto não se conhecem as suas possibilidades e o modo mais eficiente de os usar.

O principal objectivo deste trabalho foi estudar a interacção dos utilizadores com estes dispositivos, bem como outras características externas, do sistema e dos próprios utilizadores, na usabilidade de um sistema de Realidade Virtual. Para tal foi desenvolvida uma plataforma de Realidade Virtual, que possuísse as características necessárias ao desenvolvimento de estudos com utilizadores.

As plataformas utilizadas nos estudos foram o HMD (Head Mounted Display) (HMD com wiimote, rato ou *Gamepad*) e *desktop* (rato, teclado e monitor). Sendo assim, estudou-se o desempenho, sintomas, satisfação e conforto dos utilizadores usando ambientes com várias características.

Este trabalho veio reforçar uma ideia já existente, de que os utilizadores têm um maior desempenho no *desktop* devido ao treino diário que têm com estes dispositivos, pois foi realizado um estudo que comprova uma evolução no desempenho quando se utiliza o HMD ao longo do tempo. Verificou-se também que o desempenho dos utilizadores com HMD é sempre pior do que quando utilizam o *desktop*.

---

---

**Keywords**

Virtual Reality, user studies, Head Mounted Display, natural user interface

**Abstract**

There is a large variety of interaction devices and displays that can be used in virtual reality systems; however, the most efficient way to use them is not yet clear.

The main objective of this work was to study how users interact with different devices, as well as other external features of the virtual reality systems influencing their usability. Thus, a platform having the necessary characteristics for performing user studies was developed.

Two platforms were used in these user studies, one including a HMD (Head Mounted Display) with a Wii remote, mouse or gamepad as interaction devices, and a desktop (with mouse, keyboard and monitor). The performance, symptoms, satisfaction and comfort of users using various characteristics were studied.

These studies confirmed an existing idea that users have a higher performance while using a desktop, probably due to their familiarity with this platform. The evolution in users performance over time when using the HMD was also studied showing a slight increase in performance after a few training sessions in this environment.

---

---

# Índice

1.	Introdução .....	11
1.1.	Enquadramento .....	11
1.2.	Objectivo e metodologia .....	11
1.3.	Estrutura da dissertação .....	12
2.	Estado da arte .....	13
2.1.	Sistemas de Realidade Virtual .....	13
2.1.1.	Dispositivos de entrada .....	14
i.	Dispositivos de <i>desktop</i> .....	15
ii.	Dispositivos de <i>tracking</i> .....	16
iii.	3D <i>Mice</i> .....	20
2.1.2.	Dispositivos de saída .....	24
2.1.3.	Usabilidade e sua avaliação para interfaces 3D .....	29
2.2.	Motores de jogo .....	32
2.2.1.	OGRE .....	33
2.2.2.	Irrlicht .....	34
2.2.3.	Panda3D .....	35
2.2.4.	Escolha do motor de jogo .....	36
3.	Software desenvolvido ou modificado .....	39
3.1.	Bibliotecas/software auxiliares .....	39
3.1.1.	Wiiyourself! .....	39
3.1.2.	GlovePie .....	40
3.1.3.	Google SketchUp .....	41
3.2.	Aplicação Maze .....	41
3.2.1.	Alterações efectuadas .....	41

---

3.2.2.	Caso de aplicação – Esfera de imersão .....	42
3.3.	Aplicação Modelo 3D .....	43
3.3.1.	Alterações efectuadas .....	45
3.4.	Aplicação OGREMaze.....	45
3.4.1.	Funcionalidades pretendidas .....	46
3.4.2.	Inputs .....	47
3.4.3.	Outputs .....	48
3.4.4.	Construção da aplicação.....	49
i.	Funcionamento base da aplicação .....	49
ii.	OgreNewtonApplication .....	50
iii.	OgreNewtonFrameListener .....	51
iv.	bodyCallback .....	55
3.4.5.	Salvaguarda do relatório.....	56
3.4.6.	Interface de utilizador.....	57
4.	Estudos de usabilidade em RV: quatro exemplos .....	63
4.1.	Hardware .....	63
4.2.	Metodologia de avaliação .....	64
4.3.	Experiência 1 – Influência da velocidade do movimento no desempenho dos utilizadores .....	65
4.3.1.	Trabalho anterior .....	65
4.3.2.	Software utilizado .....	65
4.3.3.	Metodologia .....	65
4.3.4.	Resultados .....	67
4.4.	Experiência 2 – Influência dos dispositivos de entrada no desempenho dos utilizadores .....	72
4.4.1.	Trabalho anterior .....	72
4.4.2.	Software utilizado .....	72
4.4.3.	Metodologia .....	72
4.4.4.	Resultados .....	74
4.5.	Experiência 3 – Influência da utilização de múltiplas texturas no desempenho	

---

dos utilizadores.....	76
4.5.1. Metodologia .....	77
4.5.2. Resultados .....	78
4.6. Experiência 4 – Influência do treino no desempenho dos utilizadores.....	83
4.6.1. Metodologia .....	83
4.6.2. Resultados .....	85
5. Conclusões e trabalho futuro .....	95
6. Referências .....	97
I. Anexos .....	99
a. Detalhes de alguns motores de jogo.....	99
i. Ogre.....	99
ii. Irrlicht .....	103
iii. Tabela comparativa entre Ogre e Irrlicht .....	107
b. Ficheiro de configuração GlovePie para utilização de outros dispositivos de entrada	108
i. Wiimote.....	108
ii. Gamepad .....	109
c. Interface de utilizador – Modo utilização .....	110
d. Detalhes das experiências.....	112
i. Experiencia 1 .....	112
ii. Experiência 2 .....	118
iii. Experiência 3 .....	124
iv. Experiência 4 .....	133

---

## Lista de Figuras

Figura 1: Rato com <i>trackball</i> [ <a href="http://image2.redblue.de">http://image2.redblue.de</a> , 2011] .....	15
Figura 2: <i>Gamepad</i> [ <a href="http://www.logitech.com/assets/32855/4/logitech-Gamepad-f310.png">http://www.logitech.com/assets/32855/4/logitech-Gamepad-f310.png</a> , 2011] .....	16
Figura 3: <i>Motion tracker</i> [ <a href="http://images.linuxidx.com/go.php?q=wintracker">http://images.linuxidx.com/go.php?q=wintracker</a> , 2011] .....	17
Figura 4: <i>Tracker</i> mecânico [ <a href="http://www.digitalrune.com/Misc/FineSkills.aspx">http://www.digitalrune.com/Misc/FineSkills.aspx</a> , 2011] ....	17
Figura 5: <i>Intersense</i> [ <a href="http://www.Intersense.com/categories/18/">http://www.Intersense.com/categories/18/</a> , 2011] .....	19
Figura 6: <i>Tracker</i> híbrido, constituído por um sensor óptico e um sensor inercial [ <a href="http://www.microstrain.com/news">http://www.microstrain.com/news</a> , 2011] .....	19
Figura 7: <i>Eye tracker</i> [ <a href="http://archlab.gmu.edu">http://archlab.gmu.edu</a> , 2011] .....	20
Figura 8: <i>Data glove</i> [ <a href="http://www.metamotion.com/">http://www.metamotion.com/</a> , 2011] .....	20
Figura 9: <i>Wii mote</i> [ <a href="http://dropship.weareelectricals.com/">http://dropship.weareelectricals.com/</a> , 2011] .....	21
Figura 10: <i>Wii mote classic controller</i> [ <a href="http://www.nintendo.com/wii/console/accessories">http://www.nintendo.com/wii/console/accessories</a> , 2011] .....	22
Figura 11: <i>Wii mote nunchuck</i> [ <a href="http://www.nintendo.com/wii/console/accessories">http://www.nintendo.com/wii/console/accessories</a> , 2011] .....	22
Figura 12: <i>Wii balance board</i> [ <a href="http://www.nintendo.com/wii/console/accessories">http://www.nintendo.com/wii/console/accessories</a> , 2011] .....	23
Figura 13: <i>Wii motion plus</i> [ <a href="http://www.nintendo.com/wii/console/accessories">http://www.nintendo.com/wii/console/accessories</a> , 2011] .....	23
Figura 14: <i>Head Mounted Display</i> [ <a href="http://www.virtualworldlets.net/">http://www.virtualworldlets.net/</a> , 2011] .....	26
Figura 15: <i>Surround screen</i> [ <a href="http://hight3ch.com/wraparound-screen/">http://hight3ch.com/wraparound-screen/</a> , 2011] .....	27
Figura 16: <i>Hemispherical display</i> [ <a href="http://www.ursispaltenstein.ch/">http://www.ursispaltenstein.ch/</a> , 2011] .....	27
Figura 17: <i>Virtual retinal display</i> [ <a href="http://www.brother.com/en/news/2008/rid/index.htm">http://www.brother.com/en/news/2008/rid/index.htm</a> , 2011] .....	28
Figura 18: <i>Auto stereoscopic display</i> [ <a href="http://www.apcoav.com/Autostereoscopic-3D-Monitors.html">http://www.apcoav.com/Autostereoscopic-3D-Monitors.html</a> , 2011] .....	28
Figura 19: <i>Screenshot</i> da janela de utilizador do GlovePie com script de emulação do <i>Gamepad</i> no teclado .....	40
Figura 20: <i>Screenshot</i> da janela de utilizador do Google SketchUp .....	41
Figura 21: Utilizador dentro da esfera .....	43
Figura 22: <i>Screenshot</i> da aplicação Modelo 3D em modo <i>inside</i> .....	43
Figura 23: <i>Screenshot</i> da aplicação Modelo 3D em modo <i>outside</i> .....	44



---

Figura 24: Elementos que constituem uma cena .....	50
Figura 25: Exemplo da limitação da visão vertical .....	52
Figura 26: Momentos dos <i>frames</i> quando se utiliza o desacoplamento .....	54
Figura 27: <i>Screenshot</i> do Google SketchUp .....	58
Figura 28: <i>Screenshot</i> do explorador do <i>windows</i> nas pastas media da aplicação .....	58
Figura 29: <i>Screenshot</i> da interface de lançamento da aplicação .....	59

---

# Lista de Tabelas

Tabela 1: Parâmetros mais importantes num dispositivo de saída .....	25
Tabela 2: Sumário das características dos três motores de jogo.....	37
Tabela 3: Hardware utilizado nas experiências .....	64
Tabela 4: Mediana dos dados de desempenho da experiência B.....	68
Tabela 5: Média e mediana dos ganhos das experiências A e B .....	68
Tabela 6: Média e mediana do número de objectos apanhados das duas experiências.....	69
Tabela 7: Média e mediana do número de colisões das experiências A e B .....	69
Tabela 8: Média e mediana da velocidade média e distância percorrida das experiências A e B.....	70
Tabela 9: Sintomas dos utilizadores da experiência B quando utilizaram o HMD.....	71
Tabela 10: Sintomas dos utilizadores da experiência A quando utilizaram o HMD.....	71
Tabela 11:Média e mediana dos tempos totais (s) da experiência 2 .....	74
Tabela 12: Mediana dos valores de dificuldade indicados pelos utilizadores em seleccionar as células e rodar o modelo; 1->pouco, 2->médio, 3->muito difícil .....	75
Tabela 13: Preferências dos utilizadores da experiência 2 .....	76
Tabela 14: Tabela comparativa dos dados recolhidos pelo sistema na experiência 3 aquando da utilização do mapa sem texturas.....	79
Tabela 15:Tabela comparativa dos dados recolhidos pelo sistema na experiência 3 aquando da utilização do mapa com texturas.....	79
Tabela 16: Média e mediana do número de objectos apanhados nos dois tipos de mapa: com e sem texturas .....	80
Tabela 17: Média e mediana do número de colisões nos dois tipos de mapa: com e sem texturas .....	80
Tabela 18:Média e mediana da velocidade e da distância percorrida nos dois tipos de mapa: com e sem texturas .....	81
Tabela 19: Sintomas dos utilizadores; 1->pouco, 2->médio, 3->muito .....	81
Tabela 20: Sintomas dos utilizadores; 1->pouco, 2->médio, 3->muito .....	82
Tabela 21: Sintomas dos utilizadores; 1->pouco, 2->médio, 3->muito .....	82
Tabela 22: Perfil dos utilizadores da experiência 4.....	85
Tabela 23: Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 1 .....	86
Tabela 24: Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 2 .....	86
Tabela 25:Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 3 .....	86
Tabela 26:Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 4 .....	87

---

Tabela 27: Comparação detalhada entre Ogre e Irrlicht.....	107
Tabela 28 - Perfil dos Utilizadores na Experiência 1; idade: 1-> até 15, 2-> 16-30, 3-> +31; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	115
Tabela 29: Resultados quanto à satisfação e sintomas na Experiência 1; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	116
Tabela 30: Resultados quanto à performance na Experiência 1 .....	117
Tabela 31 - Perfil dos Utilizadores na Experiência 2; idade: 1-> até 15, 2-> 16-30, 3-> +31; 1-> discordo totalmente, 5-> concordo totalmente.....	120
Tabela 32: Resultados quanto à satisfação na Experiência 2; 1-> Pouco, 5-> Muito .....	121
Tabela 33: Resultados quanto à satisfação na Experiência 2 .....	122
Tabela 34: Resultados quanto à performance na Experiência 2.....	123
Tabela 35: Perfis de utilizador na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito.....	127
Tabela 36: Resultados quanto à satisfação na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	128
Tabela 37: Resultados quanto à satisfação na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	129
Tabela 38: Resultados quanto à satisfação na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	130
Tabela 39: Resultados quanto à performance na Experiência 3 – sem texturas.....	131
Tabela 40: Resultados quanto à performance na Experiência 3 – com texturas .....	132
Tabela 41: Perfis de utilizador na Experiência 4; 1-> Pouco, 3-> Muito.....	136
Tabela 42: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 1; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	137
Tabela 43: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 1; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	138
Tabela 44: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 1; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	139
Tabela 45: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 2; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	140
Tabela 46: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 2; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	141
Tabela 47: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 2; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	142
Tabela 48: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 3; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	143
Tabela 49: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 3; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	144
Tabela 50: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 3; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	145
Tabela 51: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 4; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	146
Tabela 52: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 4; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	147

---

Tabela 53: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 4; 1-> Pouco, 3-> Muito .....	148
Tabela 54: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 1.....	149
Tabela 55: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 2.....	150
Tabela 56: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 3.....	151
Tabela 57: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 4.....	152

---

# Lista de gráficos

Gráfico 1: Médias e medianas dos objectos apanhados nas experiências A e B.....	69
Gráfico 2: Média e mediana do número de colisões das experiências A e B.....	70
Gráfico 3: Média e mediana dos tempos totais da experiência 2 .....	75
Gráfico 4: Mediana do número de objectos apanhados.....	87
Gráfico 5: Mediana do número de colisões .....	88
Gráfico 6: Média das velocidades médias .....	89
Gráfico 7: Média das distâncias percorridas.....	89
Gráfico 8: Dificuldade em apanhar objectos .....	90
Gráfico 9: Dificuldade em percorrer os corredores .....	90
Gráfico 10: Tonturas durante o jogo.....	91
Gráfico 11: Desorientação durante o jogo .....	91
Gráfico 12: Sabiam onde se dirigir.....	92
Gráfico 13: Desconforto dos utilizadores .....	92
Gráfico 14: Dor de cabeça .....	93

---

---

# Lista de acrónimos

API	<i>Application programming interface</i>
CAVE	<i>Cave Automatic Virtual Environment</i>
CRT	<i>Cathode Ray Tube</i>
DOF	<i>Degrees of freedom</i>
DPI	<i>Dots per inch</i>
FOR	<i>Field of regard</i>
FOV	<i>Field of view</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
HMD	<i>Head mounted display</i>
IA	Inteligência artificial
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
LCD	<i>Liquid crystal display</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
LOD	<i>Level of detail</i>
OGRE	<i>Object-Oriented Graphics Rendering Engine</i>
OO	<i>Object-oriented</i>
RV	Realidade Virtual
SO	Sistema operativo
TFT	<i>Thin film transistor</i>
VTK	<i>The visualization toolKit</i>
WM+	<i>Wii motion plus</i>

---

---

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

Apesar da grande evolução tecnológica dos sistemas de Realidade Virtual nos últimos anos, que são utilizados por militares em simulações e treinos e por médicos no treino de cirurgias, ainda é difícil de estabelecer a melhor maneira de interagir nestes ambientes. No entanto, têm sido realizados estudos de usabilidade com o objectivo de perceber quais as melhores formas de interacção para utilizadores em sistemas de Realidade Virtual.

## 1.2. Objectivo e metodologia

No âmbito do plano curricular do Mestrado Integrado de Engenharia de Computadores e Telemática da Universidade de Aveiro, foi proposta a realização do presente trabalho de dissertação que teve dois objectivos principais: o desenvolvimento de uma plataforma de Realidade Virtual e a implementação de um conjunto de experiências controladas e testes de usabilidade que permitissem estudar algumas questões em aberto acerca da usabilidade em sistemas de Realidade Virtual e sintomas que os utilizadores possam vir a sentir. O desenvolvimento da plataforma de Realidade Virtual pode ser visto como uma necessidade para a resolução do estudo com experiências controladas.

Tendo os objectivos definidos, foi feito um levantamento bibliográfico acerca das principais bibliotecas gráficas e motores de jogo, dos trabalhos mais relevantes sobre

---

usabilidade e dos dispositivos de interacção e visualização usados em ambientes virtuais. Além do levantamento bibliográfico, esta dissertação incluiu o desenvolvimento de uma plataforma de Realidade Virtual e um trabalho experimental que implicou a concepção, adaptação e desenvolvimento do software necessário e realização de um conjunto de experiências que permitisse perceber se em determinadas condições o desempenho do utilizador sofria alterações. Estas experiências pretenderam comparar o desempenho, satisfação, conforto e sintomas de utilizadores em ambientes virtuais usando várias plataformas e incluindo vários dispositivos de interacção e visualização.

### 1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos.

O capítulo 1 apresenta os objectivos e motivação deste trabalho assim como a sua estrutura.

No capítulo 2 apresentam-se os principais dispositivos de entrada e saída, as principais características dos sistemas de Realidade Virtual e os métodos de avaliação de usabilidade mais comuns. Também são apresentados os principais motores de jogo em código aberto.

O capítulo 3 descreve o trabalho feito ao nível de programação, que inclui alterações efectuadas a software já existente, programas auxiliares utilizados e uma descrição da plataforma de Realidade Virtual desenvolvida.

A descrição, planeamento e discussão de resultados dos estudos são apresentados no capítulo 4. Estes resultados incluem uma análise estatística e vária informação visual (gráficos e tabelas) de forma a simplificar a sua análise.

O capítulo 5 aponta as principais conclusões e algumas possibilidades para trabalho futuro.

No anexo mostra-se em detalhe alguns dos tópicos referidos nos vários capítulos da dissertação.



---

## 2. Estado da arte

### 2.1. Sistemas de Realidade Virtual

Hancock (Hancock 1995) definiu Realidade Virtual (RV) como a forma mais avançada de interface entre o utilizador e o computador, permitindo ao utilizador visualizar, interagir e manipular dados em tempo real, usando os sentidos, particularmente movimentos naturais do corpo. A grande vantagem destes sistemas é que o conhecimento intuitivo do utilizador do mundo físico pode ser transferido para o mundo virtual (Bishop, Bricken et al. 1992). Para suportar esse tipo de interacção é necessário um leque de dispositivos que recolham informação acerca dos movimentos do utilizador, tais como sensores de *tracking* (Burdea and Coiffet 1994).

Esta tecnologia também pode ser vista como a junção de três ideias base (Morie 1994): imersão, interacção e envolvimento. A ideia de imersão está relacionada com o sentimento de se estar dentro do ambiente. Normalmente este sentimento é facilmente obtido através da utilização de um HMD onde o utilizador se sente presente no ambiente virtual (Cruz-Neira, Sandin et al. 1992). As ideias de interacção e envolvimento estão relacionadas com a capacidade do sistema detectar as entradas do utilizador e alterar o mundo, permitindo assim ao utilizador completar a sua tarefa (Nalbant and Bostan 2006).

Devido às suas características actuais e ao seu grande potencial de desenvolvimento, a Realidade Virtual começa a estar presente nas mais variadas áreas, tais como no entretenimento, medicina, aplicações militares e turismo (Bowman, Kruijff et al. 2006). Para que a sua utilização seja potencializada é necessário encontrar dispositivos de entrada que satisfaçam os utilizadores, pelo que ainda há uma grande dificuldade na interface entre

---

o utilizador e o sistema (Verity 1985; Oyama and Wakao 1997; Chow, Pose et al. 2005).

Apresentam-se a seguir os dispositivos de entrada e saída mais comuns em sistema de RV, as principais características destes sistemas, bem como os métodos de avaliação de usabilidade mais adequados.

### 2.1.1. Dispositivos de entrada

De forma ao utilizador interagir com o sistema, são necessários dispositivos que disponibilizem informação de modo a esta ser entendida pelo sistema. Estes dispositivos chamam-se dispositivos de entrada. A sua principal função é transformar os movimentos e acções do utilizador em sinais digitais que o sistema consiga decifrar.

Para cada tarefa a executar pelo utilizador é necessário ter cuidado no dispositivo a escolher de modo ao utilizador a efectuar de modo eficiente e eficaz.

De acordo com Bowman (Bowman, Kruijff et al. 2006) os critérios mais importantes na classificação de um dispositivo de entrada são os seguintes:

- Graus de liberdade (Degrees of freedom)

Descreve o número de dimensões em que o sistema interage;

- Ergonomia

Classifica o nível de conforto sentido pelo utilizador;

- Frequência de dados enviados para o sistema

Está directamente relacionado com os atrasos entre a acção do utilizador e a resposta do sistema;

- Feedback

Informação de interesse fornecida ao utilizador assim que efectua uma acção;

- Tipo de tarefa

Os dispositivos não se adequam a qualquer tipo de tarefas;

Os dispositivos podem dividir-se em dispositivos de *desktop*, dispositivos de *touching* e *3D mice*:

---

## i. Dispositivos de *desktop*

### - Ratos, *Trackballs* e *Touchpads*

Estes dispositivos são exemplos clássicos de periféricos de entrada tornados populares com o SO (Sistema Operativo) Windows. Estes dispositivos são os mais utilizados em tarefas 2D dada a sua eficiência e simplicidade de utilização (figura 1). As *Trackballs* têm a vantagem em relação aos ratos de não necessitar de uma superfície para se movimentar. Quanto aos *Touchpads*, estes normalmente só são utilizados em computadores portáteis, sendo utilizada a deslocação do dedo na superfície para obter os dados.



Figura 1: Rato com *trackball* [<http://image2.redblue.de>, 2011]

### - Teclados

O teclado é um exemplo clássico de um periférico de entrada, constituído por um conjunto discreto de componentes (teclas). A maioria dessas teclas é alfanumérica, existindo também outros tipos de teclas, como as teclas de funções pré-definidas e as setas direccionais.

Este dispositivo é utilizado maioritariamente para inserção de texto, sendo também possível a sua utilização em outras aplicações, como jogos e aplicações de modelação.

### - *Gamepad* / *Joysticks*

São geralmente constituídos por botões analógicos combinados com outros botões (figura 2). O seu uso está associado a aplicações de simulação.



Figura 2: *Gamepad* [<http://www.logitech.com/assets/32855/4/logitech-Gamepad-f310.png>, 2011]

## ii. Dispositivos de *tracking*

Estes dispositivos têm a capacidade de detectar movimentos feitos pelo utilizador através de sensores. De seguida vão ser apresentados os tipos de dispositivos mais importantes.

### - Dispositivos de *Motion Tracking*

#### - Magnéticos

Estes dispositivos são constituídos por receptores e transmissores (figura 3). O transmissor emite um campo magnético de baixa frequência que é captado pelo receptor. Este último determina a sua posição e orientação em relação à fonte emissora. Estes sensores têm pouco alcance e boa precisão. A sua grande desvantagem é a sua grande vulnerabilidade a interferências do exterior.



Figura 3: *Motion tracker* [<http://images.linuxidx.com/go.php?q=wintracker>, 2011]

- Mecânicos

São dispositivos com uma grande precisão devido ao sensor seguido estar ligado mecanicamente a uma posição fixa (figura 4) mas que limitam muito a mobilidade ao utilizador. Geralmente estes dispositivos são de grande porte e extremamente caros. As suas vantagens residem na sua grande precisão e baixa latência.



Figura 4: *Tracker mecânico* [<http://www.digitalrune.com/Misc/FineSkills.aspx>, 2011]

- Acústicos

Este tipo de dispositivo utiliza emissores e receptores (microfones) de som de alta-frequência para determinar a posição do sensor. O sensor tanto pode ser emissor como

---

receptor, dependendo do objectivo do utilizador. Estes dispositivos funcionam como um sonar, calculando distâncias a partir do tempo que o som leva do emissor ao receptor. A grande vantagem deste tipo de dispositivos é o seu baixo custo e tamanho, oferecendo uma grande mobilidade. Contudo o seu raio de acção é curto, a sua frequência de amostragem é baixa, e é susceptível a interferências do exterior.

#### - Ópticos

Uma outra possível abordagem de cálculo de posição e orientação é através da medida da luz reflectida ou emitida. Estes dispositivos utilizam emissores tais como emissores de infra-vermelhos e receptores tais como câmaras.

Podem ter dois tipos de configuração:

*Outside-in*: utilizam múltiplas câmaras que observam um marcador e calculam a sua posição através de triangulações. Podem ser utilizadas em grandes áreas, dependendo da qualidade e alcance das câmaras, obtendo uma boa precisão.

*Inside-out*: utilizam vários marcadores e uma única câmara que se move no ambiente. É um cenário típico de realidade aumentada e simples de utilizar em espaços pequenos.

#### - Inerciais

Estes dispositivos são compostos por acelerómetros e giroscópios capazes de medir velocidades angulares e acelerações lineares (figura 5). O grande problema destes dispositivos é a acumulação dos erros ao longo tempo: para calcular posições e orientações a partir de velocidades e acelerações é necessário efectuar integrações o que aumenta os erros com o tempo. Para minimizar estes erros utilizam-se outros sistemas para calibração, sendo estes dispositivos híbridos. A grande vantagem destes dispositivos é que não têm problemas de interferências nem são muito dispendiosos.



Figura 5: *Intersense* [<http://www.Intersense.com/categories/18/>, 2011]

#### - Híbridos

Dispositivos híbridos combinam tecnologias de forma a aumentar a precisão, reduzir a latência e fornecer uma melhor experiência (figura 6). No geral, faz-se uma combinação onde se tenta eliminar os pontos fracos de cada uma das tecnologias envolvidas.



Figura 6: *Tracker* híbrido, constituído por um sensor óptico e um sensor inercial  
[<http://www.microstrain.com/news>, 2011]

#### - Eye Trackers

Estes dispositivos detectam para onde o utilizador está a olhar. Essa detecção é baseada normalmente em técnicas de visão por computador: o dispositivo detecta a pupila através da reflexão da córnea (figura 7).

Esta tecnologia pode ser utilizada por exemplo para controlar o cursor do rato através dos olhos por utilizadores sem capacidade motora.



Figura 7: *Eye tracker* [<http://archlab.gmu.edu>, 2011]

- *Data Gloves*

Estes dispositivos são utilizados para medir a posição e flexão da mão e dedos através de sensores, permitindo ao utilizador fazer movimentos naturais (figura 8). São dispositivos caros e muito complexos, não sendo por isso uma tecnologia muito comum.



Figura 8: *Data glove* [<http://www.metamotion.com/>, 2011]

iii. *3D Mice*

São dispositivos de tracking combinados com outros tipos de dispositivos, tais como botões ou apontadores obtendo assim mais funcionalidades.



---

- *Playstation Move e Wii remote*

O dispositivo *Playstation Move* (develop 2011) é o novo comando da consola *Playstation* e é constituído por um giroscópio de 3 eixos, um acelerómetro de 3 eixos, um sensor magnético, uma esfera luminosa com 250 cores e um conector para ligar outros dispositivos. É um dispositivo sem fios (tecnologia *Bluetooth*) em que o funcionamento se baseia na leitura da esfera luminosa pela *Playstation Eye* (câmara da *Playstation*) auxiliado pelos sensores de movimento. A partir dos valores lidos calcula o posicionamento e orientação. O *feedback* ao utilizador é dado por vibração. Um controle auxiliar pode ser ligado de forma a auxiliar na interacção.

Pode ser utilizado no *desktop* através do software *moveonpc* (hkaufmann 2010).

- Navigation Controller

É um comando auxiliar sem sensores de movimento que apenas auxilia na jogabilidade. Possui um botão analógico e dois botões normais.

O *Wii mote* é o comando da consola *Wii* (gdgt 2011) e é constituído por 12 botões, 4 leds azuis e uma câmara de infravermelhos (figura 9). O *feedback* dado ao utilizador é dado pelos leds, por um altifalante e por vibração. Possui ainda um acelerómetro de 3 eixos e um conector para ligar a outros dispositivos:



Figura 9: *Wii mote* [<http://dropship.weareelectricals.com/>, 2011]

---

- Classic Controller

Tem o formato dos antigos comandos. Tem dois botões analógicos, 4 botões em losango, um *D-pad*, 4 botões no topo do comando e os botões *select* e *start* (figura 10).



Figura 10: *Wii classic controller* [ <http://www.nintendo.com/wii/console/accessories> , 2011]

- *Nunchuck*

É constituído por um botão analógico, dois botões e um acelerómetro de 3 eixos. É utilizado para auxiliar o wiimote fornecendo mais informação de entrada como por exemplo, num jogo de boxe onde o *wiimote* simula a mão esquerda e o *nunchuck* simula a mão direita (figura 11).



Figura 11: *Wii nunchuck* [ <http://www.nintendo.com/wii/console/accessories>, 2011]

---

- *Wii Balance Board*

Este dispositivo calcula onde o centro de massa do utilizador se encontra. Pode ser usado para determinar posições ou inclinações de corpos (figura 12).



Figura 12: *Wii balance board* [<http://www.nintendo.com/wii/console/accessories>, 2011]

- *Wii Motion Plus (WM+)*

O *Wii Motion Plus* é um equipamento que se adiciona ao *Wiimote* para aumentar as suas capacidades (figura 13). Possui dois giroscópios, um de dois eixos e um de um eixo. A combinação das 3 acelerações lineares com as 3 taxas de ângulo permite o que a *Nintendo* refere como detecção de movimento 1:1, que é outra maneira de dizer 6DOF (6 graus de liberdade). É válido apenas por curtos períodos, devido ao facto das integrações envolvidas para converter as acelerações em posições gerarem grande quantidade de erros. Quando não activo, o WM+ é detectado por “polling” (a cada 8 segundos ou mais).



Figura 13: *Wii motion plus* [<http://www.nintendo.com/wii/console/accessories>, 2011]

---

### 2.1.2. Dispositivos de saída

De forma ao utilizador obter *feedback* da sua acção, é necessário um dispositivo que transforme a linguagem máquina em estímulos sensoriais perceptíveis pelo utilizador. A representação pode ser visual, sonora, ou tátil. As imagens podem ser estereoscópicas (duas imagens ligeiramente diferentes para cada olho dando sensação de profundidade) ou monoscópicas (única imagem para ambos os olhos) (Bowman, Kruijff et al. 2006).

De acordo com Bowman, Kruijff et al os parâmetros mais importantes num dispositivo de saída estão explicados na tabela 1.

<i>Field of View</i> (FOV)	É a extensão angular do ambiente que é visto num dado momento
<i>Field of Regard</i> (FOR)	É a medida do ângulo de visão do ambiente que envolve o utilizador
Resolução espacial	Relaciona-se directamente com o tamanho dos pixéis e o tamanho do ecrã (pontos por polegada ( <i>dots per inch</i> - <i>dpi</i> )). É uma medida de qualidade da imagem.
Geometria do ecrã	Existem <i>displays</i> de várias formas, rectangulares, hemisféricos e híbridos. As formas não rectangulares requerem algoritmos de projecção específicos, o que pode afectar a visualização.
Transferência de luz	Refere-se à forma como a luz é transferida para a superfície do <i>display</i> . A transferência pode ser feita por projecção frontal, projecção por trás ou por laser projectado na retina. Exemplos de projecção frontal ou por trás são os projectores.
Taxa de actualização	É a medida, em Hz, da taxa de actualização da imagem no dispositivo.
Ergonomia	É outra medida de qualidade, pois os dispositivos têm de ser confortáveis para não interferir na visualização.

Tabela 1: Parâmetros mais importantes num dispositivo de saída

---

Descrevem-se a seguir os principais *displays* usados em Realidade Virtual:

- Monitores

São os dispositivos de visualização mais comuns devido ao seu baixo preço. São utilizados para visualizações 2D e 3D, tendo a desvantagem de terem um baixo FOV e FOR, tornando-os pouco imersivos. Actualmente os monitores mais usados são os LCDs (*liquid crystal display*), sendo que os CRTs (*cathode ray tube*) entraram em desuso devido ao seu grande tamanho e peso e de já não ser financeiramente compensatório. A tecnologia de monitores LED (*light-emitting diode*) está a aparecer no mercado mas ainda são dispendiosos comparando com a tecnologia TFT.

- Projectores

São dispositivos similares aos monitores, sendo a cena projectada numa tela, aumentando o seu tamanho. Contudo têm as mesmas desvantagens dos monitores.

- *Head Mounted Display* (HMD)

São dispositivos portáteis que se colocam na cabeça do utilizador. Com a ajuda de um dispositivo de *tracking* pode-se determinar o movimento da cabeça e assim calcular o movimento no mundo virtual (figura 14). Possui duas projecções, uma para cada olho, sendo possível efectuar projecções estereoscópicas.



Figura 14: *Head Mounted Display* [<http://www.virtualworldlets.net/>, 2011]

---

- *Surround screens*

São dispositivos em que são projectadas imagens sobre três ou mais planos que rodeiam o utilizador. Apesar de permitirem muito boa imersão, têm alto custo e tamanho (figura 15).



Figura 15: *Surround screen* [<http://hight3ch.com/wraparound-screen/>, 2011]

- *Multidisplay Environments*

Basicamente aproveitam vários *displays* para a utilização do mesmo ambiente. Como estes podem não cobrir toda a área de visão e o cursor do rato não estar limitado à área dos *displays*, existe o problema do cursor se encontrar numa zona sem *display*.

- *Hemispherical Displays*

São dispositivos que utilizam software e ópticas especiais de forma a projectar a imagem em 180°. O utilizador pode situar-se fora ou dentro da semi-esfera (figura 16).



Figura 16: *Hemispherical display* [<http://www.ursispaltenstein.ch/>, 2011]

---

- *Virtual Retinal Displays*

Estes dispositivos projectam directamente a imagem na retina através de um laser. Necessitam de um *eye tracking* para poder efectuar a projecção correctamente (figura 17).



Figura 17: *Virtual retinal display*

[<http://www.brother.com/en/news/2008/rid/index.htm>, 2011]

- *Auto Stereoscopic Displays*

São dispositivos com capacidade de projectar imagens 3D. Para tal precisam de projectar 2 imagens ao mesmo tempo o que leva a precisarem de uma alta taxa de actualização (figura 18).



Figura 18: *Auto stereoscopic display* [<http://www.apcoav.com/Autostereoscopic-3D-Monitors.html>, 2011]



---

### 2.1.3. Usabilidade e sua avaliação para interfaces 3D

Segundo Jakob Nielsen (Molich and Nielsen 1990), usabilidade é um atributo de qualidade que avalia a facilidade de aprendizagem e utilização de uma interface de utilizador. É definido por cinco componentes de qualidade (Dix, Finlay et al. 2003) :

- Aprendizagem: define a dificuldade em realizar tarefas básicas no primeiro encontro com a interface;
- Eficiência: define o tempo que os utilizadores demoram a realizar determinada tarefa depois de familiarizados com a interface;
- Facilidade de relembrar: refere-se à facilidade de os utilizadores relembrarem como se utiliza a interface após um tempo sem a utilizar;
- Erros: se os utilizadores efectuem erros e a gravidade dos mesmos;
- Satisfação: classifica a satisfação dos utilizadores quando usam a interface;

Os mais importantes métodos de avaliação de usabilidade podem dividir-se em métodos que não implicam utilizadores (analíticos) e métodos que implicam a colaboração de utilizadores (empíricos). Os primeiros dois métodos apresentados são analíticos e os últimos três são empíricos (Dix, Finlay et al. 2003) (Bowman, Kruijff et al. 2006) :

#### - *Cognitive Walkthroughs*

Este tipo de avaliação pode ser usado em qualquer fase do projecto. Os avaliadores prevêem problemas de usabilidade observando simulações das acções que os utilizadores são pressupostos realizar. Este método determina a facilidade de aprendizagem do sistema através da sua exploração.

#### - Observação

Este é talvez o método mais realista pois permite ao avaliador observar o utilizador a realizar determinada tarefa e retirar notas acerca do seu comportamento e acerca do comportamento do sistema.

#### - Avaliação heurística

Este método avalia um sistema através de uma lista de princípios/heurísticas. Através da utilização desta lista os avaliadores serão capazes de identificar falhas e classificá-las de acordo com a sua gravidade (Molich and Nielsen 1990).

---

- Entrevistas e questionários

São métodos em que os utilizadores podem expressar as suas opiniões. As entrevistas são mais abrangentes que os questionários sendo estes menos flexíveis.

- Experiências controladas

Neste método é escolhida uma hipótese a testar. O número de condições experimentais é ponderado por variáveis controladas. É necessário ter cuidado com alguns factores, tais como a escolha dos participantes, variáveis de teste e hipótese testada.

As experiências manipulam e medem variáveis sobre condições controladas, que possam testar a hipótese. Existem dois tipos de variáveis, as que podem ser manipuladas ou alteradas (variáveis independentes ou de entrada) para produzirem diferentes condições de comparação e as que podem ser medidas (variáveis dependentes ou de saída).

O primeiro passo será formular a hipótese e definir claramente as variáveis dependentes e independentes.

O passo seguinte é decidir qual o método experimental que vamos usar. Existem dois métodos: *within groups* (quando o mesmo utilizador testa a experiência em todas as condições) e *between groups* (quando parte dos utilizadores participam apenas numa condição).

Por último efectuem-se os testes e analisam-se os resultados obtidos (Dix, Finlay et al. 2003).

Bowman, Kruijff et al (Bowman, Kruijff et al. 2006) referem três tipos de métricas que podem ser utilizadas na avaliação de sistemas: métricas de performance do sistema, métricas de performance da tarefa e métricas da preferência dos utilizadores:

- Métricas de performance do sistema

Referem-se à performance do sistema utilizado, e incorpora características tais como a latência média, *frames* por segundo ou atraso na rede.

- Métricas de performance da tarefa

Estas métricas referem-se à performance específica para uma dada tarefa, como o tempo para navegar num mapa ou a precisão no disparo a um objecto.

- Métricas de preferência dos utilizadores

Referem-se à percepção subjectiva do utilizador sobre a interface, isto é, se é fácil de utilizar ou se tem uma aprendizagem rápida.

---

No entanto, segundo Bowman (Bowman, Kruijff et al. 2006) para se avaliarem interfaces 3D é necessário ter atenção a algumas características únicas destes sistemas. As mais importantes são:

- Características físicas
  - Interfaces imersivas, tais como o HMD impedem o utilizador de ver onde se encontra, logo o avaliador deve providenciar uma área onde o utilizador se possa deslocar sem obstáculos.
  - Alguns *displays* 3D não permitem múltiplos espectadores (como por exemplo o HMD) pelo que o equipamento deve estar montado de forma que o avaliador também possa observar o ambiente virtual.
  - Uma forma eficaz de gerar dados é utilizando o protocolo “*think-aloud*”, que consiste em o utilizador dizer em voz alta as acções que planeia efectuar. Um problema resultante deste protocolo é se a interacção com o sistema for feita através da voz.
  - Uma outra forma de gerar dados é através da filmagem do utilizador e da interface
- Características do avaliador
  - Em ambientes de imersão como por exemplo o CAVE (Cruz-Neira, Sandin et al. 1992), o avaliador deve manter-se fora do raio de visão do utilizador de modo a não perturbar a sua navegação
  - Se a avaliação consiste na observação de múltiplas características deve-se utilizar vários avaliadores de modo a ser possível avaliar todas as características com eficiência
- Características do utilizador
  - Os estudos em que se utilizem interfaces 3D devem ser aplicados sobre um grupo diverso de utilizadores, isto é, ter um grupo onde características como a idade, sexo, e competências técnicas sejam variáveis.
  - Sendo as interfaces 3D uma tecnologia recente, os resultados de uma avaliação poderão variar muito de utilizador para utilizador pelo que é necessário um grupo de utilizadores maior do que nas avaliações de interfaces 2D, devido à inexperiência dos utilizadores com estas novas tecnologias.
  - Como não é conhecido com exactidão se as interfaces 3D causam náuseas ou fadiga, as avaliações devem incluir alguma medida desses factores. Essa medida pode ser efectuada através de um questionário.

---

## 2.2. Motores de jogo

Motor de jogo é um software e/ou conjunto de bibliotecas desenhado para facilitar o desenvolvimento de aplicações gráficas em tempo real, nomeadamente jogos. Um motor de jogo tem de possuir determinadas características, sendo as mais relevantes as seguintes: um motor gráfico para renderizar gráficos 2D ou 3D, um motor de física para simular a física real ou para detecção de colisões, suporte a animações e sons, manuseamento de arquivos e possivelmente também suporta inteligência artificial, rede, linguagem de script, arbitragem de memória e suporte a grafos de cena e entidades. Atendendo a estas características, pode-se dividir um motor de jogo em motor gráfico e motor de física (Stefan Zerbst 2004). Um motor gráfico tem a função de processar dados de programação de alto nível e gerar dados de baixo nível que possam ser interpretados pelo hardware, como por exemplo o motor gráfico OGRE (Cheah and Ng 2005). Quanto aos motores de física, estes são responsáveis por simular as leis físicas no ambiente virtual, ou seja, são responsáveis por simular acções reais através do uso de variáveis do tipo: gravidade, elasticidade ou força. Como exemplo de motores de física podem-se citar os seguintes: OgreNewt e Bullet (OGRE 2011).

Como a principal característica é simplificar e abstrair o desenvolvimento de aplicações, este software vai actuar como um intermediário entre a programação de alto nível e a programação de baixo nível (Gregory and Lander 2009; Miller, Vandome et al. 2009). Esta abstracção também ocorre ao nível da plataforma, ou seja, os motores de jogo funcionam em qualquer sistema operativo com poucas, ou mesmo nenhuma, alterações no código fonte. Ao software com esta característica chama-se “middleware”. Para facilitar ainda mais o desenvolvimento de aplicações, os motores de jogo ainda oferecem ferramentas de desenvolvimento como por exemplo IDEs, o que permite um desenvolvimento rápido, pouco complexo e com baixo custo. Muito deste software permite a integração de outros componentes, permitindo estender as funcionalidades originais. Dois exemplos são o motor de física Havok ou a componente de som FMOD. Esta característica permite aos motores de jogo ter grande extensibilidade, podendo ser usados em várias situações, tais como demos de marketing ou visualização 3D de modelos.

Alguns motores de jogo só fornecem capacidade de fazer o “render” 3D em tempo-real, estando as restantes componentes a cargo do programador. Estes são chamados de motor gráfico ou motor 3D. Frequentemente não é feita a devida distinção entre motores de

---

jogo e motores gráficos, o que por vezes causa alguma confusão.

Os motores de jogo mais avançados fornecem um grafo de cena, que é a representação do mundo 3D, facilitando a manipulação dos elementos da cena, que leva a um rendering mais eficiente.

Como objectos de estudo, e para poder seleccionar o que mais se adequava ao trabalho a desenvolver, foram escolhidos três dos mais usados e conhecidos motores de jogo escritos em C++ e de software livre actuais: OGRE, Irrlicht e Panda3D. O estudo sobre estes motores de jogo aborda principalmente características de cena, simulação de física, integração de periféricos e personalização.

### 2.2.1. OGRE

O desenvolvimento do motor gráfico OGRE (*Object-Oriented Graphics Rendering Engine*) foi iniciado nos finais do ano 2001 sendo o seu primeiro lançamento em Fevereiro de 2005. O seu início deve-se a Steve 'sinbad' Streeting que teve a ideia de criar um motor gráfico bem desenhado, estruturado e independente. O grupo de programadores é reduzido, mas conta com muitos utilizadores espalhados pelo globo (OGRE 2009).

Este motor gráfico utiliza uma arquitectura orientada a objectos, sendo concebido para minimizar o esforço para fazer o rendering de cenas 3D e ser independente da implementação 3D, tornando-o simples de usar. Esse design OO (Orientado a objectos) permite estender as funcionalidades do motor através de plug-ins e subclasses, sendo todo o design documentado e limpo. Com a inclusão de certos plug-ins, como plug-ins de simulação de física, áudio, serviços de rede, podemos considerar o OGRE como um motor de jogo, o que só é possível porque a adição de um plug-in não requer uma nova recompilação do motor gráfico. Relativamente a plug-ins que simulam a física, os seguintes são os mais relevantes: OgreNewton, NxOgre, OgreODE, OgreBullet. Para a implementação do GUI, também é possível recorrer a vários plug-ins como o QuickGUI ou o MyGUI (OGRE 2011).

A linguagem de programação deste motor é forte, mantém os materiais fora do código, ou seja, para alterar o material de um objecto não é necessário voltar a compilar o código. Suporta vários tipos de materiais e texturas, o que permite criar vários efeitos e o OGRE selecciona automaticamente o melhor suporte. Também suporta LOD (Level of detail) ao nível das texturas como das malhas, o que permite aumentar o desempenho da aplicação.

Ao nível de características da cena, o OGRE permite visualizar qualquer tipo de

---

cena, sendo altamente personalizável e com uma gestão flexível. O uso de um plug-in baseado em BSP (algoritmo de renderização de interiores com detecção de colisões) permite uma rápida e fácil renderização de interiores e carregamento de mapas do tipo Quake3. O grafo de cena é baseado numa hierarquia de nós, permitindo que objectos se relacionem entre si, sendo possível mover um conjunto de nós movendo apenas o nó “pai”.

Este motor tem a portabilidade como grande característica, a mudança entre sistema operativo (Windows/Mac OS/Linux) e entre sistema de renderização (OpenGL/DirectX) ocorre de forma automática, graças a uma arquitectura de camadas que torna essas trocas transparentes. Para o sistema operativo Windows baseia-se no IDE Visual Studio.

Relativamente ao controle de falhas, este motor possui um depurador do controle de memória, facilitando o processo.

Também é de salientar a extensa e bem estruturada documentação, sendo todas as classes totalmente documentadas, fornecendo exemplos de utilização tais como tutoriais ou exemplos funcionais de código. A comunidade aderente a este motor tem crescido, o que a torna mais activa, sendo fácil obter resposta a eventuais dúvidas que possam surgir (OGRE 2009; DevMaster 2011).

Os seus plug-ins de incorporação de motor de física fornecem suporte para a maior parte das necessidades que uma aplicação possa vir a ter. Desde os mais simples, como o OgreNewton e o ODE, aos mais avançados, NxOgre e OgreBullet, todos são completamente compatíveis com este motor de jogo, sendo a sua integração no projecto simples e o seu desenvolvimento apoiado numa boa documentação, exemplos e ajudas dadas pela comunidade nos respectivos fóruns (OGRE 2011).

### 2.2.2. Irrlicht

Este motor surgiu a partir da ideia de Nikolaus Gebhardt quando pensou em criar um motor de jogo leve, estável e de fácil utilização. Começou a sua programação em 2002 e durante 4 anos trabalhou sozinho nos seus tempos livres. O primeiro grande lançamento foi em Abril de 2006 aquando do lançamento da versão 1.0 (Irrlicht 2009).

O Irrlicht é escrito em C++ e totalmente orientado a objectos, proporcionando alta performance de processamento 3D em tempo real usando DirectX e OpenGL. Contém biblioteca com material extensível, não sendo necessária a recompilação do código para adicionar novos materiais. É multi-plataforma (Windows/Linux/Mac OS) e suporta vários IDEs.

Uma das grandes diferenças relativamente aos outros motores de jogo é que suporta 6 APIs diferentes: Direct3D 8.1, Direct3D 9.0, OpenGL, The Burningsvideo Software

---

Renderer, o renderer do próprio motor e “A null device” (descarta toda a informação enviada para a API). A grande vantagem é que o programador não tem de saber qual a API a escolher, pois o motor faz a escolha automaticamente atendendo às seguintes características: maior performance, plataforma, e problemas com *drivers*.

Relativamente á construção da cena, este motor contém vários materiais por omissão, sendo que também é possível adicionar novos materiais sem recompilar o motor e fazer o seu rendering directo a partir de arquivos comprimidos. A manipulação da cena é altamente personalizável, usando um grafo hierárquico de nós “pai” e nós “filho” sendo possível mover um conjunto de nós a partir do seu nó “pai”.

Este motor suporta uma física simples, com uma rápida e fácil detecção de colisões. Também suporta uma GUI 2D personalizável e fácil de usar.

A grande documentação com tutoriais e exemplos é muito eficaz, e a grande comunidade e a entreaajuda entre os utilizadores ajuda a superar os problemas que se possa ter com o motor (Irrlicht 2009; DevMaster 2011).

### 2.2.3. Panda3D

Este motor de jogo foi desenvolvido pela Disney e lançado em código aberto em 2002. A sua primeira versão foi usada no jogo multijogador online Toontown da Disney. Actualmente, o Panda3D é desenvolvido em conjunto pela Disney e pela Carnegie Mellon University's Entertainment Technology Center. Com o core escrito em C++, este motor tanto pode ser usado com Python ou C++ (Panda3D 2011).

Uma grande vantagem deste motor é ter poucas dependências, ou seja, a única dependência são os *drivers* da placa gráfica. O Panda3D possui as características básicas de um motor de jogo comum, como a construção de cena, inclusão de elementos de física, detecção de colisões, áudio 2D e 3D, vários tipos de texturas e suporta alguns periféricos. Os pontos fortes deste motor são a sua avaliação de desempenho e modo de depurar os erros. Para a avaliação de desempenho possui várias ferramentas de optimização e monitorização de performance, também oferecendo uma vasta gama de ferramentas de depuração. Suporta uma GUI simples e uma fácil integração com o ARtoolkit. O rendering, como nos motores estudados anteriormente, está ao cargo da aplicação, ou seja, é a própria aplicação que escolhe a API a usar, neste caso OpenGL ou DirectX (Panda3D 2010; DevMaster 2011).

O Panda3D possui uma documentação muito completa onde inclui exemplos e tutoriais, havendo também uma extensa comunidade que actualmente usa este motor nos seus projectos.

Em contra partida, este motor foi escrito para ser usado com Python, ou seja, usando

---

só C++ não se conseguirá usar todas as capacidades do Panda3D. Esta característica aliada ao facto de não se conseguir uma manipulação de cena tão facilmente como nos motores estudados anteriormente, coloca o Panda3D atrás desses motores de jogo.

#### 2.2.4. Escolha do motor de jogo

Como o objectivo é programar um ambiente de Realidade Virtual personalizável, concluiu-se que a utilização do motor de jogo Panda3D não era viável, pois está mais vocacionado para programas mais estáticos e está limitado em relação aos periféricos a usar e manipulação do mesmo software. Como no projecto a desenvolver as prioridades são a personalização e a facilidade de utilização, verificou-se que tal era conseguido mais facilmente através de um dos outros motores de jogo estudados, OGRE ou Irrlicht.

Para ser possível a comparação entre OGRE e os restantes motores de jogo é fundamental abordar os seus plug-ins, pois é com a inclusão destes que podemos transformar o motor gráfico OGRE em motor de jogo. Isto só é possível com a inclusão de plug-ins que incorporem física, serviços de rede, áudio e IA. Se assumirmos que estes plug-ins fazem parte do OGRE então pode-se classificá-lo como motor de jogo.

A escolha entre OGRE e Irrlicht é uma escolha difícil, pois ambos possuem as características necessárias à realização do projecto, ou seja, permitem renderizar interiores, incluir jogadores e modelos de física. A escolha recaiu no OGRE pois este projecto é baseado num projecto anterior já desenvolvido em OGRE, logo é mais fácil programar num ambiente em que já se tem alguma experiência. Como o uso do motor de jogo OGRE não é suficiente para o objectivo deste projecto, tem de se incorporar um motor de física. Como o propósito desta aplicação é simplesmente a detecção de colisões e física básica (gravidade) a escolha recai num motor de física mais simples: OgreNewton ou ODE. A diferença entre estes dois motores de física é pouca, ambos suportam os requisitos necessários à aplicação. O escolhido foi o OgreNewton, pois neste momento a sua comunidade é muito maior do que a do ODE, o que permitirá resolver problemas mais facilmente.

A tabela 2 mostra um sumário dos motores de jogo estudados, realçando os pontos principais de cada um.



---

	<b>OGRE</b>	<b>Irrlicht</b>	<b>Panda3D</b>
Geral	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arquitetura OO</li> <li>-Arquitetura com plug-ins flexível</li> <li>-Documentação completa</li> <li>-Suporta arquivos ZIP/PK3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arquitetura OO</li> <li>-Suporta arquivos ZIP</li> <li>-Boa documentação</li> <li>-Suporta arquitetura de 64 bits</li> <li>-Suporte para joystick</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Arquitetura OO</li> <li>-Integração com ARtoolkit facilitada</li> </ul>
Física	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Detecção de colisões</li> <li>-Física básica (plug-ins)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Detecção de colisões</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Detecção de colisões</li> <li>-Física básica</li> <li>-Física de veículos</li> </ul>
Texturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Basic, Multi-texturing,</li> <li>-Suporta vários arquivos de imagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic, Multi-texturing,</li> <li>- Texturas animadas</li> <li>-Suporta vários arquivos de imagem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Basic, Multi-texturing,</li> <li>-Texturas animadas</li> </ul>

Tabela 2: Sumário das características dos três motores de jogo

---

---

---

## 3. Software desenvolvido ou modificado

Neste capítulo apresenta-se o software utilizado (desenvolvido por outros alunos ou software livre) e o software modificado e desenvolvido a ser utilizado nas experiências controladas a efectuar. As aplicações Maze e Modelo 3D são aplicações desenvolvidas por outros alunos que foram alteradas de modo a ser possível realizar as experiências controlada planeadas, enquanto a aplicação OGREMaze foi desenvolvida de raiz. Para além do software alterado e desenvolvido também serão apresentadas algumas bibliotecas auxiliares.

### 3.1. Bibliotecas/software auxiliares

#### 3.1.1. Wiiyourself!

Wiiyourself é uma biblioteca aberta escrita em C++ que permite o uso de wiimotes e suas extensões em programas de C++. Esta biblioteca fornece ferramentas para leitura e interpretação dos dados enviados pelo wiimote. Como não é uma biblioteca oficial da Nintendo, não possui suporte para todos os relatórios (tipo de informação a enviada pelo wiimote) permitidos pelo wiimote. Os relatórios permitidos são os seguintes:

IN\_BUTTONS – Informação dos botões;

IN\_BUTTONS\_ACCEL – Informação dos botões e do acelerómetro;

---

IN\_BUTTONS\_ACCEL\_IR – Informação dos botões, acelerómetro e infra-vermelhos;  
IN\_BUTTONS\_ACCEL\_EXT – Informação dos botões, acelerómetro e da extensão;  
IN\_BUTTONS\_ACCEL\_IR\_EXT – Informação dos botões, acelerómetro, infra-vermelhos e da extensão;  
IN\_BUTTONS\_BALANCE\_BOARD – Informação dos botões e da Balance Board;

O funcionamento desta biblioteca quando se usa só o wiimote revela-se estável e os valores lidos revelam coerência. Os valores de aceleração (X, Y, Z) são mostrados sob a forma de Gs e os de taxa angular (Roll e Pitch) sob a forma percentual ou de graus (gl.tter 2010).

De momento esta biblioteca ainda não tem suporte para o WM+, estando esse agendado para breve segundo os seus programadores.

### 3.1.2. GlovePie

GlovePie é um software muito simples que consiste na emulação de certos dispositivos de entrada em rato e teclado.

Suporta praticamente todo o tipo de dispositivos, desde luvas de Realidade Virtual a wiimotes (Kenner 2010).

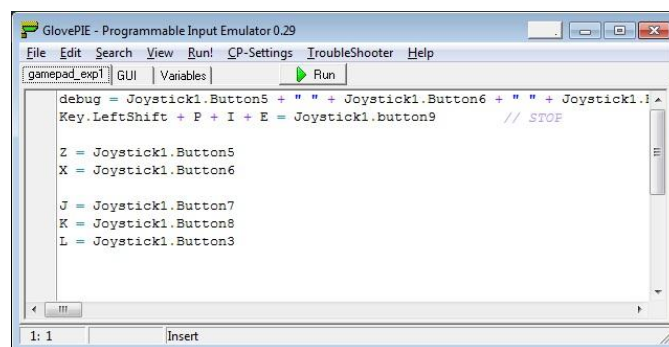


Figura 19: *Screenshot* da janela de utilizador do GlovePie com script de emulação do *Gamepad* no teclado

---

### 3.1.3. Google SketchUp

Este é um software de modelação bastante simples. É possível a modelação de objectos ou de cenas. Com a instalação de um pequeno plug-in é possível a exportação de modelos no formato .mesh (Google-SketchUp 2011). A figura 20 mostra um aspecto da interface de utilizador do Google SketchUp 7.

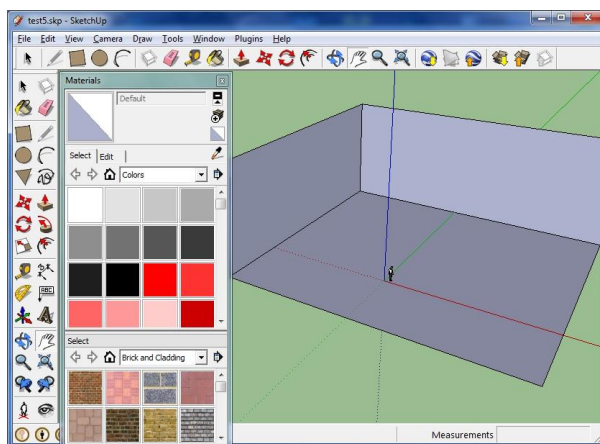


Figura 20: *Screenshot* da janela de utilizador do Google SketchUp

## 3.2. Aplicação Maze

Esta aplicação tinha sido desenvolvida anteriormente a partir de uma versão mais antiga da biblioteca gráfica OGRE. O objectivo era desenvolver uma aplicação de Realidade Virtual fácil de configurar, e onde se pudessem utilizar vários dispositivos de entrada e saída. Trata-se de um jogo em que o utilizador deve apanhar todos os objectos no menor intervalo de tempo. A apanha dos objectos é feita através da colisão do jogador com o objecto.

### 3.2.1. Alterações efectuadas

Esta aplicação foi alterada de forma a ser utilizada numa experiência controlada

---

---

descrita no capítulo 4 que consistia em verificar se diferentes ganhos de velocidade influenciavam o desempenho do utilizador. Para ser possível utilizar diferentes ganhos foi necessário efectuar alterações na aplicação.

Foram efectuadas alterações sobre o movimento do jogador, quer na sua velocidade de deslocamento, quer na sua velocidade de rotação. O funcionamento nas duas situações é idêntico, pelo que a explicação relativa a um também se aplica ao outro. Foram mapeadas duas teclas para efectuar as alterações de ganho: uma para aumentar e outra para diminuir. Como o pressionar de uma tecla é detectado em cada *frame* (várias vezes por segundo), o pressionar uma tecla iria resultar em grandes alterações de ganho. Para se obter só uma alteração de ganho de cada vez que é pressionada uma tecla foi necessário estabelecer um mecanismo do tipo semáforo, de modo à variação do ganho ser feita como pretendido.

Essas variações de ganho são posteriormente guardadas num ficheiro de registo de maneira a ser possível registar o comportamento do utilizador.

### 3.2.2. Caso de aplicação – Esfera de imersão

Esta aplicação também foi alterada de forma a poder ser utilizada no âmbito da dissertação de um aluno do Mestrado em Criação Artística. A experiência realizada por esse aluno consistia numa instalação em que o utilizador usando um HMD dentro de uma esfera móvel de fibra de vidro, explora um mundo virtual quando se desloca dentro da esfera, fazendo-a rodar. A figura 21 exemplifica o modo de funcionamento da instalação. As alterações efectuadas consistiram na inserção de um novo mapa, alteração do tempo limite de jogo e alteração dos dispositivos de entrada que moviam o jogador, neste caso por omissão era o teclado tendo-se alterado para o rato.



Figura 21: Utilizador dentro da esfera

### 3.3. Aplicação Modelo 3D

Esta aplicação tinha sido desenvolvida anteriormente usando a biblioteca VTK e consiste na criação de um cubo em três dimensões cujas faces estão divididas em cores diferentes. O utilizador pode seleccionar essas várias cores numa lista visível do lado esquerdo da imagem. A cor seleccionada é visível na parte inferior da aplicação. O cubo pode ser visto de duas formas: *inside* ou *outside*. A figura 22 mostra um aspecto da interface da aplicação com a opção *inside* activa.

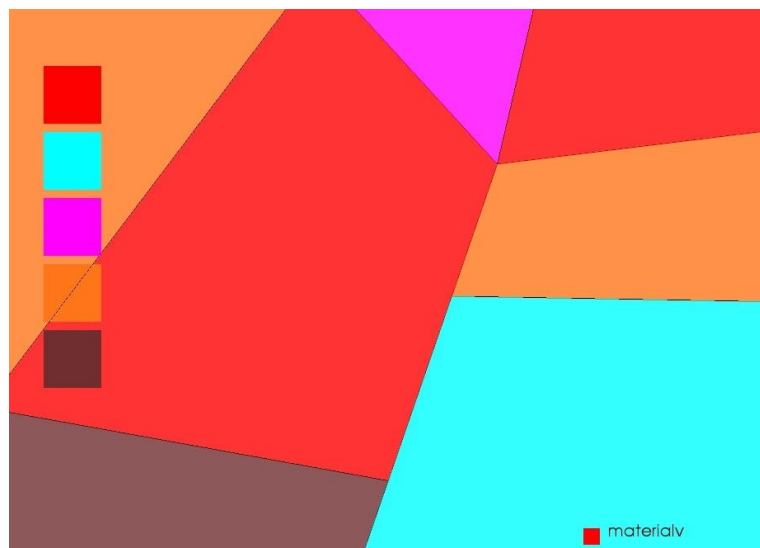


Figura 22: *Screenshot* da aplicação Modelo 3D em modo *inside*

---

No caso da opção *outside* (figura 23), o utilizador situa-se a uma certa distância do modelo, onde o vê por inteiro, podendo roda-lo de forma a poder ver todas as faces. Se optar pela opção *inside*, o utilizador situa-se dentro do modelo, onde o pode rodar de maneira a poder ver todas as faces. Esta opção também tem duas variações, variando a forma de rodar o modelo. Se utilizar o HMD o modelo roda conforme a direcção para onde o utilizador olhar, caso contrário roda quando o botão direito do rato for pressionado. A selecção da cor é feita com o botão esquerdo do rato.

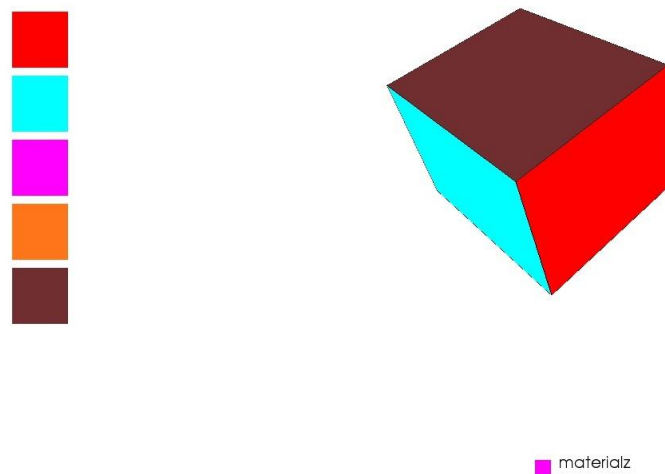


Figura 23: *Screenshot* da aplicação Modelo 3D em modo *outside*

O objectivo desta aplicação é muito simples, consiste em acertar a cor seleccionada com a cor correcta da face do cubo. Isto aplica-se às duas variantes da aplicação, quer dentro do modelo, quer fora do modelo. Quando uma cor seleccionada é correspondente á cor da face do modelo esta toma a cor azul claro, sinal que a correspondência foi correcta.

Quando todas as cores forem correctamente seleccionadas a aplicação termina, guardando num ficheiro de relatório dados importantes. Entre esses dados destacam-se a identificação do utilizador, o tempo total, o número de selecção de cores erradas e o número de faces já seleccionadas.



---

### 3.3.1. Alterações efectuadas

Esta aplicação foi alterada de forma a poder ser utilizada numa experiência controlada descrita no capítulo 4 com o objectivo de comparar os desempenhos dos utilizadores nas tarefas em causa quando usam *desktop* (rato e teclado) e HMD (HMD, *Intersense* e wiimote). Para tal utilizou-se a opção *inside* da aplicação com algumas alterações de modo a fazer sentido a integração do HMD. A opção *outside* não fazia sentido com a utilização do HMD, pois não criava a sensação de imersão como se pode obter quando o jogador se encontra dentro do modelo. Foram realizadas as seguintes alterações:

a) O modo de selecção da cor foi alterado de forma a ser feita através dos botões UP e DOWN do wiimote:

- Foi criada uma lista bi-ligada cíclica para a lista de cores, isto é, quando percorrida até ao topo retorna ao início. Esta lista é percorrida quando a *callback* que trata do estado do wiimote é activada pelos botões UP e DOWN.

b) A selecção da face do modelo foi alterada de forma a ser feita quando pressionado o botão A do wiimote:

- Quando a *callback* que trata do estado do wiimote é activada pelo botão A selecciona a secção da face de onde se encontra.

c) Foi adicionada uma mira no centro do ecrã de forma ao utilizador se orientar melhor:

- Foi criado um ponto no centro do ecrã.

d) Foi ajustado o ficheiro de relatório, para uma leitura mais rápida e simples.

## 3.4. Aplicação OGREMaze

Partindo do motor gráfico OGRE, pretendia-se desenvolver uma plataforma de Realidade Virtual simples de configurar (tem como propósito ser utilizada por utilizadores não programadores) e que permita criar diferentes ambientes virtuais e configurar vários tipos de interacção. Esta aplicação tem como fim a realização de experiências controladas,

---

pelo que será necessário guardar dados sobre as acções no ambiente virtual.

Descreve-se nesta secção as funcionalidades pretendidas e os dispositivos de entrada e saída que usa. Apresentam-se detalhes de implementação e descreve-se a interface de utilizador.

#### 3.4.1. Funcionalidades pretendidas

A funcionalidade identificada foi a seguinte:

- Nome do utilizador

O nome a ser usado posteriormente para a salvaguarda do ficheiro de relatório, deve ser escolhido pelo utilizador.

- Mapa

O mapa a ser utilizado na aplicação é escolhido pelo utilizador, sendo possível a utilização de mapas desenvolvidos pelo próprio utilizador.

- Leis da física

Sendo uma aplicação de Realidade Virtual, o comportamento virtual deve ser o mais semelhante possível à realidade, sendo fundamental a inserção das leis da física, tais como gravidade e colisões entre objectos.

- Disparo

Este ambiente virtual deve permitir a possibilidade de acertar em objectos através de um disparo.

- Desacoplamento

O utilizador deve poder andar numa direcção e ao mesmo tempo olhar em redor sem alterar a sua rota.

- Vários dispositivos de entrada

Esta aplicação deve incorporar vários dispositivos de entrada e permitir várias combinações entre eles.

- Salvaguarda de um relatório

---

Para ser feita uma análise da utilização da aplicação, deve ser guardado um conjunto de dados.

- Coordenadas de objectos

Deve ser possível carregar um ficheiro com coordenadas que correspondem à posição de objectos no mapa.

- Modelo objectos

O modelo do objecto deve ser definido pelo utilizador, sendo possível o utilizador criar o próprio objecto. Também deve ser possível alterar o tamanho do objecto.

- Alteração das características do jogador

Deve ser possível alterar valores por omissão relativos ao jogador, tais como a velocidade de movimento e velocidade de rotação.

- Condições de fim da aplicação

Deve ser disponibilizado ao utilizador várias condições de término da aplicação, tais como um tempo limite, limite de colisões ou quando o jogador “apanha” todos os objectos.

- Configuração de coordenadas dos objectos

O utilizador deve poder guardar um ficheiro de coordenadas para carregar como coordenadas de objectos.

### 3.4.2. Inputs

Os dispositivos de entrada suportados pela aplicação são os seguintes:

- *Intersense*

Este dispositivo é normalmente utilizado com o HMD para permitir movimentos reais, de forma a que a direcção para onde o utilizador esteja a olhar se reflecta na mesma direcção no mundo virtual.

- Rato

Este dispositivo está activo por omissão. O movimento do rato corresponde ao movimento no mundo e os seus botões correspondem a movimentos predefinidos.

---

- Teclado

Este dispositivo também está activo por omissão. Algumas teclas estão mapeadas também para funções predefinidas.

Apesar de não serem directamente suportados pela aplicação, é possível emular os seguintes dispositivos no GlovePie, encontrando-se alguns exemplos no anexo.

- Wiimote

Como é um dispositivo sem fios, é preferencialmente usado para emular algumas teclas do teclado.

- *Gamepad*

Sendo usualmente um dispositivo com fio, tem grande utilidade devido aos seus botões analógicos, podendo substituir o rato ou algumas teclas do teclado.

Independentemente do dispositivo de saída é possível utilizar várias combinações de dispositivos de entrada. As combinações mais comuns e já utilizadas foram as seguintes:

- *Intersense* e rato
- *Intersense* e *Gamepad*
- *Intersense* e *wiimote*
- Teclado e rato

A combinação mais simples e funcional é o *Intersense* com *wiimote*, visto o *wiimote* ter a grande vantagem de ser um dispositivo sem fio.

### 3.4.3. Outputs

Os dispositivos de saída suportados pela aplicação devem ser os seguintes:

- Monitor

Este é o dispositivo de saída primário. Com este dispositivo não é possível a utilização do *Intersense*, pois não é possível o utilizador estar sempre de frente para o monitor de forma a ver a imagem.

---

- Projector

Tal como o monitor, neste dispositivo não é possível a utilização do *Intersense*.

- *Head Mounted Display*

De entre os três dispositivos apresentados, este é o que melhor navegação em ambientes de Realidade Virtual permite pois é o único dispositivo de saída que permite a utilização do *Intersense*.

#### 3.4.4. Construção da aplicação

A aplicação foi desenvolvida no Microsoft Visual Studio 2008 (Microsoft 2011) com o motor gráfico OGRE versão 1.6 (OGRE 2009) e o motor de física OgreNewt (OGRE 2011). Para modificar o código é necessário compilar estas bibliotecas, pois as bibliotecas compiladas variam consoante a versão do sistema operativo. Mais informação sobre como compilar estas bibliotecas pode ser encontrada nos seus sítios online.

##### i. Funcionamento base da aplicação

Para a construção da aplicação, foi usado como base um exemplo fornecido pelo OgreNewt que era basicamente um cubo a mover-se num plano (Newton 2009). Este exemplo era constituído por três classes: `Start`, `OgreNewtonApplication` e `OgreNewtonFrameListener`. A classe `Start` corresponde à iniciação da aplicação, pelo que não foi alterada. A classe `OgreNewtonApplication` corresponde à criação do mundo e dos seus elementos, e a classe `OgreNewtonFrameListener` é uma classe que é chamada antes e depois de cada *frame*, de forma que as características do mundo possam sofrer actualizações de acordo com os dados de entrada recebidos. No caso de se utilizar detecção de colisões, será chamada a *callback* `bodyCallback` sempre que for detectada uma colisão, de maneira a ser possível efectuar acções diferentes dependendo do tipo de colisão.

De seguida explica-se em mais detalhe o funcionamento de cada classe e as suas funções principais.

---

## ii. OgreNewtonApplication

A classe `OgreNewtonApplication` tem 5 funções por omissão: `constructor`, `destructor`, `createScene`, `destroyScene` e `createFrameListener`.

A função `constructor` cria o mundo, um *timer* e a classe *intermediate*. O mundo criado por esta classe vai ser o objecto raiz, ou seja, tudo o que for criado vai estar relacionado com ele. O *timer* é necessário devido à sua utilização em ficheiros de registo, para assinalar tempos, e para terminar a aplicação caso haja um tempo máximo de execução. A classe *intermediate* funciona apenas como um semáforo, contendo informação acerca das configurações. Para criar o `FrameListener` é chamado o construtor `OgreNewtonFrameListener`, que será explicado com mais detalhe à frente. A função `createScene` é a mais complexa da classe pelo que a figura 24 ilustra a constituição da cena. Para não haver confusão entre os objectos da cena e os objectos que o jogador terá de apanhar, estes últimos designar-se-ão de caixas.

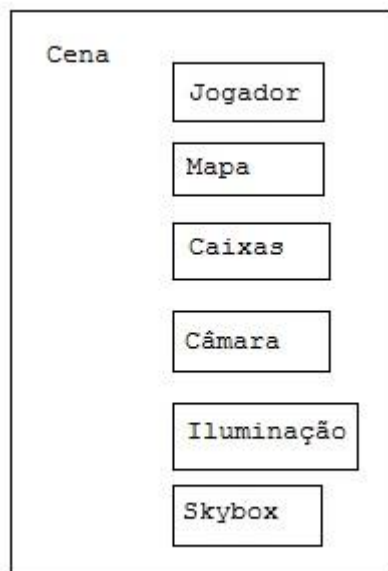


Figura 24: Elementos que constituem uma cena

A criação de um `skybox` permite a utilização de mapas que não sejam fechados, dando a ilusão de o jogador se encontrar em campo aberto. A câmara é criada pelo motor de jogo pelo, que é apenas necessária a sua configuração. A iluminação é criada pela

---

função `createLight` podendo ser configurada.

Antes de proceder à explicação da criação do mapa, caixas e jogador explica-se algumas noções básicas. A criação de qualquer objecto (cubo, esfera, etc) é independente da sua forma, ou seja, é independente da sua malha. Nesta aplicação os objectos são incluídos no formato `.mesh`, que é um formato de malha simples, basicamente constituído por um ficheiro `.mesh`, outro `.material` e algumas imagens de textura. Para a criação de um objecto é necessário criar uma entidade associada à malha do objecto. De seguida é necessário criar um nó filho (neste caso filho do nó raiz) e anexar essa entidade ao nó. Para este objecto possuir características físicas é necessário criar um corpo que envolva esse nó. Esse corpo é definido pelo motor de jogo, podendo ter várias formas (cilindro, quadrado ou personalizável) e que permite ao objecto ter novas características como a massa que irá ser explicada mais à frente. Para um objecto se diferenciar de outro, é necessário definir materiais e tipos diferentes nas suas características.

A criação do mapa é feita como a criação de qualquer objecto, sendo o nome da malha lido do ficheiro de configuração. No caso do jogador será criado um objecto com a forma de elipsóide para a sua representação. Este será invisível mas manterá as características físicas. Para diferenciar o jogador e oferecer-lhe características especiais (velocidade) o motor de jogo possui uma classe `PlayerController` que adiciona essas características ao jogador.

A criação das caixas só é efectuada se assim estiver definido nas configurações. Se for o caso, são lidas de um ficheiro uma lista de coordenadas correspondentes às posições das caixas e criada uma caixa em cada posição. O tamanho e a malha são configuráveis na configuração inicial.

Para terminar, para ser possível a detecção de colisões entre os objectos é necessário emparelhar os seus materiais e marcá-los para chamar a *callback* de colisões. Neste caso são emparelhados os materiais do jogador com o material do mapa e das caixas.

### iii. **OgreNewtonFrameListener**

Esta classe é chamada antes e depois de cada *frame* contendo 5 funções já definidas por omissão: construtor, destrutor, `frameRenderingQueued`, `frameStarted` e `frameEnded`. De todas as funções já pré-definidas, apenas a função `frameStarted` tem algum conteúdo, resumindo-se à leitura dos estados do rato e do teclado e à actualização do jogador.

O estado do teclado resume-se à detecção de teclas pressionadas ou libertadas,

---

enquanto o estado do rato para além do estado dos botões, pressionados e libertados, também informa sobre a posição. Esta posição pode ser a posição real ou a posição relativa à última leitura, podendo ser usada a que o programador preferir. A actualização do jogador é feita através das velocidades lateral e frontal e da orientação. As velocidades são lidas no teclado através das teclas WSAD e a orientação é lida pelo rato. Para simular um movimento mais real, a orientação vertical está limitada a um ângulo de 180° como se pode verificar na figura 25.

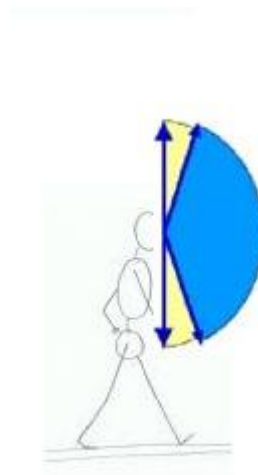


Figura 25: Exemplo da limitação da visão vertical

Para satisfazer as funcionalidades pretendidas foi necessário alterar três funções: o construtor, *frameStarted* e *frameEnded*.

No construtor, é feito um reset ao *timer* para que este comece a contagem a partir do 1º *frame*. São também lidos os campos da configuração inicial e guardados em variáveis globais ou na classe *intermediate* referida anteriormente.

Na função *frameStarted* foram adicionadas algumas funcionalidades, tais como: novas teclas mapeadas, disparo, desacoplamento, uso do *Intersense* e condições de terminação da aplicação.

No caso do teclado, são onze teclas mapeadas, cujo estado é lido quando pressionadas:

- Tecla W

É guardada informação acerca da velocidade frontal



---

- Tecla S

Também é guardada informação acerca da velocidade frontal, sendo neste caso negativa

- Tecla A

É guardada informação da velocidade lateral, sendo negativa

- Tecla D

Também é guardada informação acerca da velocidade lateral

- Tecla K

É guardada a posição do jogador numa lista, sendo esta guardada em ficheiro no fim da aplicação

- Tecla Z

Diminui o ganho de rotação

- Tecla X

Aumenta o ganho de rotação

- Tecla C

Aumenta ganho de velocidade

- Tecla V

Diminui ganho de velocidade

- Tecla L

Efectua o disparo

- Tecla ESC

Termina a aplicação.

O disparo é efectuado através de *raycast*, sendo o raio traçado desde a posição do jogador. Se o raio traçado colidir com uma caixa, esta é apagada e a estatística é actualizada. A distinção entre o alvo do disparo é feita através da comparação das massas (relaciona-se com o peso e densidade dos objectos e vai ser afectada pela gravidade, ou seja, objectos com diferentes massas caem a velocidades diferentes), sendo a massa das

---

caixas diferente da massa do mapa.

A actualização da posição e orientação do jogador é feita de forma diferente no caso de utilizar rato e teclado ou se utilizar o HMD com *Intersense*. Em seguida explica-se o que acontece no caso de se utilizar rato e teclado.

No caso de se utilizar o desacoplamento existem três momentos: o *frame* quando o utilizador pressiona uma tecla em que o jogador se move, o *frame* a seguir à libertação de uma tecla que altere o movimento e os restantes *frames* (figura 26).

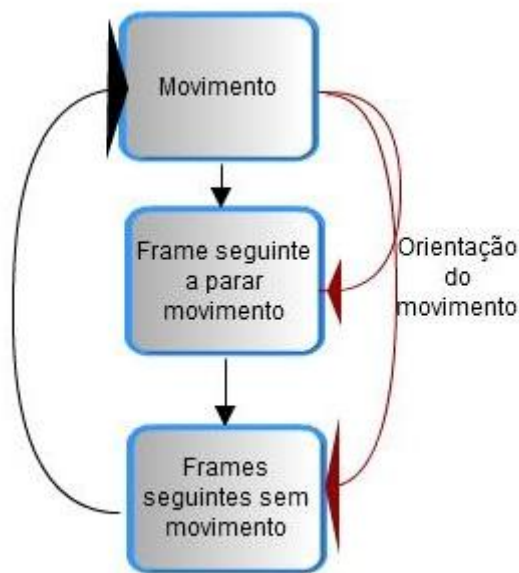


Figura 26: Momentos dos *frames* quando se utiliza o desacoplamento

O funcionamento deste último momento é igual ao funcionamento dos *frames* sem desacoplamento com a ligeira diferença de se guardar a direcção do jogador numa variável. Quando é pressionada uma tecla que altere o movimento, a posição do jogador no *frame* seguinte vai ser alterada de acordo com as velocidades lidas e com a orientação do jogador guardada no *frame* sem movimento. Só a orientação da câmara é que vai ser alterada de acordo com o movimento do rato. No *frame* seguinte à libertação da tecla, a orientação do jogador vai ser feita com base na orientação da câmara guardada no fim do *frame* anterior, de modo a que a posição do jogador seja a posição da câmara antes de largar a tecla. Este método traz o inconveniente de este *frame* a seguir à libertação da tecla conter uma orientação da câmara e do jogador erradas, pois só neste *frame* são actualizadas as orientações correctas. Não foi possível corrigir a orientação neste *frame*, pois só depois de

---

gerar o *frame* é que é dada a indicação que a tecla foi libertada. O efeito deste erro nota-se sobretudo como um flash, o utilizador não se apercebe exactamente da falha mas esta também não passa despercebida.

No caso de se utilizar HMD e *Intersense*, o teclado será utilizado da mesma forma para actualizar o movimento do jogador, sendo este emulado para outro dispositivo (wiimote por exemplo) através do GlovePie. No caso da actualização da orientação, esta vai ser a orientação recebida do *Intersense* que, feitas algumas conversões, permite uma simulação real, ou seja, a orientação do utilizador com o *Intersense* vai ser a orientação do jogador no mundo virtual. Se o desacoplamento estiver activo, a actualização do jogador vai ter dois momentos: com uma tecla de movimento pressionada e sem tecla de movimento pressionada. A diferença entre esses dois momentos é que sem tecla de movimento pressionada a actualização do jogador é feita normalmente, com a diferença de guardar a orientação numa variável. Quando é pressionada uma tecla de movimento, a direcção do jogador será a direcção guardada antes de pressionar a tecla.

O fecho da aplicação baseia-se em quatro parâmetros: se o utilizador carrega na tecla ESC, se o tempo de jogo atinge o tempo limite, se o jogador apanhou todos os objectos ou se o número de colisões atinge o número de colisões máximo. Quando é atingida uma destas condições a aplicação termina, salvando o ficheiro de relatório.

É também na classe *OgreNewtonFrameListener* que estão definidas três funções relativas a guardar informações acerca das acções passadas na aplicação. A função *logeventpos* regista o tempo de ocorrência e as coordenadas do jogador sempre que este se move. Uma outra função, *logevent*, regista o tempo de ocorrência, as coordenadas e o tipo de evento que ocorreu. Esta função é chamada em caso de colisões com o mapa, colisões com caixas ou disparo. Para gravar estas informações em ficheiro é utilizada a função *saveLog*, que também grava alguma estatística acerca das acções efectuadas e alguma informação acerca da configuração da aplicação. Esta informação é guardada só no final da aplicação de modo a ser possível o cálculo da estatística pelo que se a aplicação terminar de modo anormal esta informação será perdida.

#### iv. **bodyCallback**

Sempre que ocorre uma colisão entre dois objectos cujos materiais estejam emparelhados (classe *OgreNewtonApplication*) é chamada esta função para o seu processamento. São comparados os tipos de cada objecto sendo o resultado o seguinte:

- Mapa e jogador

É actualizado o número de colisões e guardado um evento sobre a colisão com o

---

mapa

- Caixa e jogador

Nesta situação podemos ter dois resultados:

- Com disparo activo

É actualizado o número de colisões com objectos e guardado um evento sobre a colisão com a caixa

- Sem disparo activo

A caixa é eliminada, é actualizado o número de objectos apanhados e guardado um evento sobre a colisão

Para uma maior facilidade de utilização do utilizador foi criada uma interface em C# utilizando o Visual Studio. Basicamente essa interface preenche o ficheiro de configuração, resolvendo algumas dúvidas que o utilizador possa ter. A construção da interface é baseada em botões e caixas de texto, contendo alguns *timers* e funções de sistema, como lançamento da aplicação. O seu funcionamento está descrito na secção 3.4.6.

#### 3.4.5. Salvaguarda do relatório

Quando a aplicação termina são gerados dois ficheiros: um com extensão `_log.txt` e outro com extensão `_pos.txt`. O primeiro refere-se a informação sobre as configurações e à análise estatística, ou seja, contém a seguinte informação:

- Nome do utilizador
- Tipo de dispositivos de entrada
- Se usa desacoplamento
- Tempo total permitido
- Tempo utilizado
- Distancia percorrida
- Velocidade média
- Nome do mapa
- Ganhos de velocidade e de rotação
- Se utiliza objectos
- Número de objectos
- Se utiliza disparo
- Número total de objectos apanhados
- Número total de disparos

- 
- Número de disparos falhados
  - Número total de colisões
  - Número de colisões com objectos

Contém também uma tabela onde está registado o tempo, posição e o tipo de evento sempre que ocorre um evento como se pode ver na tabela X:

Time	X Position	Y Position	Z Position	Event
22	,6	,1	,-5	, Collision
25	,0	,1	,-14	,CollisionObject
31	,1	,1	,-24	, Object

O segundo ficheiro de relatório contém uma lista com as posições do jogador sempre que o *frame* é actualizado. Este ficheiro pode ser utilizado para reproduzir o percurso realizado pelo jogador numa planta do mapa.

### 3.4.6. Interface de utilizador

O manuseamento da aplicação resume-se a três momentos: preparação do mapa e dos objectos, configuração da aplicação e utilização da aplicação.

O mapa e os objectos têm de estar no formato .mesh de forma a poderem ser lidos pela aplicação. Com a aplicação já são fornecidos alguns mapas e objectos, mas se for necessário criar um mapa novo pode-se utilizar o Google SketchUp (Google-SketchUp 2011). Este software é muito simples de usar e possui um plug-in que faz a exportação do modelo para .mesh (figura 27). Ao fazer a exportação para .mesh serão criados três tipos de ficheiro: a malha do modelo em formato .mesh, o ficheiro de configuração das texturas em formato .material e os ficheiros das texturas em formato .jpg.

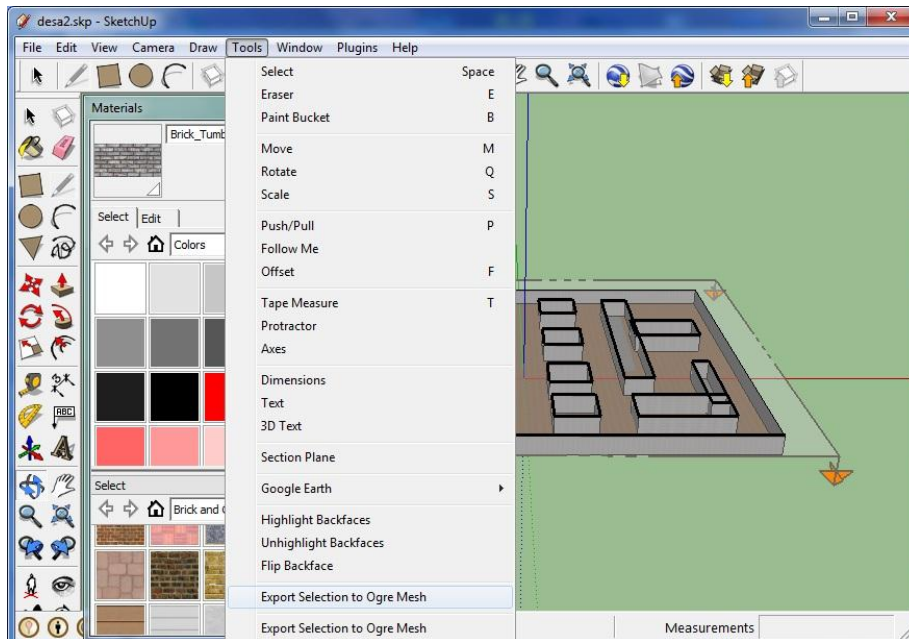


Figura 27: *Screenshot* do Google SketchUp

Esses ficheiros terão de ser guardados em subpastas da pasta media, as texturas na subpasta textures, o ficheiro .material na subpasta scripts e o ficheiro de malha .mesh na subpasta models (figura 28). Estas pastas estão nas directorias da aplicação.

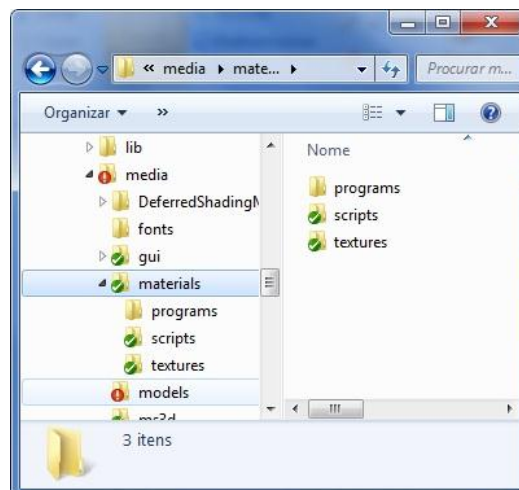


Figura 28: *Screenshot* do explorador do windows nas pastas media da aplicação

---

O passo seguinte é configurar a aplicação pelo que é necessário saber as características que queremos para a aplicação. A figura 29 mostra a interface de configuração da aplicação.

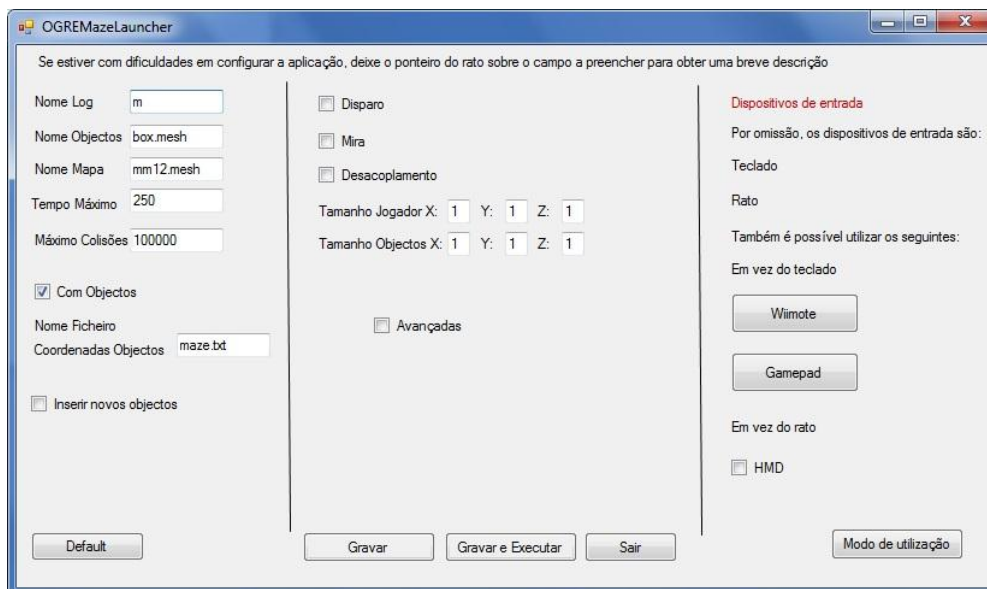


Figura 29: *Screenshot* da interface de lançamento da aplicação

Nas duas primeiras colunas temos as configurações da aplicação, enquanto na terceira coluna temos as configurações dos dispositivos de entrada. De seguida será explicado em pormenor cada uma das configurações.

Na primeira coluna temos os seguintes campos:

-Nome log

Deve-se inserir o nome dos ficheiros a serem criados quando a aplicação termina. Serão criados dois ficheiros, um com informações sobre o jogo e outro com o posicionamento do jogador ao longo do jogo.

-Nome objectos

Refere-se ao ficheiro de malha .mesh relativo ao objecto a utilizar. Como foi explicado anteriormente, existem alguns modelos na pasta models mas podem ser adicionados novos modelos.

---

-Nome mapa

Tal como no campo anterior, refere-se a um modelo de malha .mesh. Também existem alguns modelos na pasta models e também podem ser acrescentados novos modelos.

-Tempo máximo

Refere-se ao tempo máximo de jogo em segundos. Se pretender que a aplicação não tenha um tempo limite deve inserir-se um número elevado.

-Máximo colisões

É o número máximo de colisões que o jogador pode dar nas paredes, e dependendo das configurações, nos objectos.

-Com objectos

Se se desejar objectos no jogo, deve inserir-se o nome do ficheiro que contém uma lista com coordenadas dos objectos. Esse ficheiro tem de estar no seguinte formato:

Número x:3,12345 y:2,12345 z:1,12345

-Inserir novos objectos

Se se activar esta opção, o jogo iniciará sem objectos, mas com a possibilidade de se adicionarem durante o jogo. Para isso posiciona-se o jogador na posição onde se quer o objecto e pressiona-se a tecla G. Podem ser inseridos vários objectos. Desta forma cria-se o ficheiro de coordenadas.

Na coluna do meio existem seis campos:

-Disparo

Esta opção activa o disparo, ou seja, em vez de os objectos serem apanhados através de colisão são apanhados através de disparo. As colisões com as caixas serão tratadas como colisões diferentes das colisões com o mapa, ficando essa diferença registada no ficheiro de log.

-Mira

Desenha no centro do ecrã uma mira para facilitar a pontaria do disparo.

-Desacoplamento

Permite ao jogador movimentar-se podendo olhar em redor sem alterar a direcção do



---

movimento. Esta opção activa o desacoplamento.

-Tamanhos

Aqui são descritos os tamanhos dos objectos e do jogador. Embora o corpo do jogador seja invisível, este pode ter o seu tamanho alterado. São medidas com tamanhos unitário por omissão em largura, comprimento e altura.

-Opções avançadas

Aqui são configurados os ganhos de movimento e rotação, isto é a velocidade de movimento e de rotação.

A última coluna contém as configurações dos dispositivos de entrada:

-*Wiimote*

Para utilizar o *wiimote* é necessário ter o *GlovePie* instalado ou utilizar o que está na pasta da aplicação *OGREMaze*. Seleccionando o botão abre-se uma caixa com uma breve explicação de como utilizar.

-*Gamepad*

Tal como o *wiimote* o seu uso requer o *GlovePie*. Seleccionando o botão o procedimento é o mesmo.

-HMD

Para utilizar o HMD poderá ser necessário instalar os respectivos *drivers*. Se se desejar que a aplicação inicie mais rapidamente deve correr-se o *IServer* antes de iniciar a aplicação.

Os botões na parte inferior da interface têm a seguinte função:

-Default

Repõe os valores iniciais de todos os campos.

-Gravar

Grava a configuração.

-Gravar e executar

Grava a configuração e executa o programa.

---

-Sair

Sai da interface de configuração.

-Modo de utilização

Abre um pequeno guião em pdf que explica como configurar a aplicação. Esse guião pode ser consultado no anexo.

Estando as configurações feitas pode-se executar a aplicação.

---

## 4. Estudos de usabilidade em RV: quatro exemplos

O trabalho desta dissertação centrou-se no desenvolvimento de uma plataforma de suporte a experiências com utilizadores em Realidade Virtual e num conjunto de estudos com utilizadores. As secções seguintes descrevem detalhadamente quatro experiências, bem como o hardware e metodologias de avaliação, realizadas com a ajuda da plataforma.

Estas experiências controladas têm como objectivo testar a influência de vários factores no desempenho dos utilizadores no jogo. Na primeira experiência testa-se a influência da variação da velocidade do jogador no seu desempenho. Na segunda experiência testa-se a influência da utilização de dois diferentes dispositivos de entrada. Na terceira experiência testa-se a hipótese de diferentes texturas no mundo virtual contribuírem para a orientação do jogador e por último testa-se a influência que o treino em determinada tarefa tem no desempenho dessa tarefa usando um equipamento de RV.

### 4.1. Hardware

O hardware utilizado nas experiências está descrito na tabela 3.

---

i-glasses SVGA Pro	<p>Resolução de 800x600 pixéis, possibilidade de exibição de imagens 3D com estereoscopia e áudio através de auscultadores estéreo integrados.</p> <p>Imagem equivalente a um monitor de 70 polegadas visto a 4 metros de distância.</p> <p>Taxa de actualização de 100Hz (50Hz para cada olho, em modo estéreo).</p>
<i>Intersense InertiaCube3</i>	<p>Três graus de liberdade (<i>yaw</i>, <i>pitch</i> e <i>roll</i>).</p> <p>Taxa de actualização de 180Hz.</p> <p>4ms de latência</p>
Computador de suporte	<p>Pentium 4 a 2.5GHz.</p> <p>1024MB de memória RAM. Placa gráfica NVIDIA GeForce FX 5950 Ultra com 256MB de memória.</p>
Laptop	<p>Pentium Dual core i9 2.5GHz</p> <p>3072Mb de memória RAM</p> <p>Placa gráfica NVIDIA GeForce 9500 GS</p>

Tabela 3: Hardware utilizado nas experiências

## 4.2. Metodologia de avaliação

Para se poder avaliar o desempenho dos utilizadores utilizaram-se os seguintes métodos:

- Experiência controlada: Onde foi efectuado o registo automático de variáveis importantes à análise da experiência
- Observação: Os avaliadores observaram e anotaram os comportamentos adoptados pelos utilizadores
- Questionário: No final de cada experiência foi aplicado um questionário onde se caracterizava o perfil de utilizador tal como as suas preferências e satisfação, bem como

---

sintomas adversos sentidos durante a experiência (enjoo, tontura, desorientação ou náusea). Alguns dados demográficos dos utilizadores foram também recolhidos através deste questionário.

### 4.3. Experiência 1 – Influência da velocidade do movimento no desempenho dos utilizadores

#### 4.3.1. Trabalho anterior

Em face de resultados de experiências anteriores (Santos 2008), foi considerada a possibilidade de melhorar o desempenho dos utilizadores permitindo-lhes configurar o ganho de velocidade que achassem mais adequado. Sendo assim, o objectivo desta experiência foi verificar se o desempenho de um grupo de 16 utilizadores ao navegar no ambiente virtual Maze, utilizando a plataforma que inclui o *Head Mounted Display* (HMD), se alterava com a mudança do ganho na velocidade. Sendo assim, realizou-se uma experiência em que os utilizadores puderam alterar o ganho e os resultados foram comparados com uma experiência anterior onde o ganho era fixo (Santos 2008); o design experimental das duas experiências apenas diferia no facto de os utilizadores poderem, na segunda experiência escolher anteriormente o ganho de velocidade a usar. A experiência anterior será denominada por experiência A e a experiência realizada (com configuração de ganho) será denominada por experiência B.

#### 4.3.2. Software utilizado

O software utilizado nesta experiência controlada foi a aplicação Maze referida no capítulo 3 com as alterações necessárias para se poder configurar o ganho.

#### 4.3.3. Metodologia

As principais características desta experiência foram as seguintes:

- **Hipótese a testar:** a possibilidade de escolha do ganho de velocidade não tem influência no desempenho dos utilizadores nas circunstâncias em causa;

- 
- **Variável independente:** ganho de velocidade;
  - **Variáveis dependentes:** número de objectos apanhados, número de colisões, tempo total;
  - **Dispositivos de entrada:** *Desktop* (rato e teclado) e HMD (*Intersense* e rato);
  - **Participantes:** 16 estudantes universitários;
  - **Método experimental:** within groups (i.e. todos os utilizadores usaram todas as condições experimentais);

Esta experiência integrou várias fases. Na primeira fase os utilizadores jogaram no labirinto virtual Maze num mapa pequeno para ajustar o ganho de velocidade. Assim que se sentiam confortáveis com o ganho escolhido passavam à fase seguinte. Nesta fase os utilizadores jogavam no ambiente virtual Maze, tendo-se recolhido dados quanto ao seu desempenho e quanto ao seu comportamento. Finalmente na última fase procedeu-se à identificação do perfil do utilizador através dum questionário.

Descrevem-se a seguir mais detalhadamente as várias fases.

### **1ª Fase – Jogo no ambiente virtual Maze (escolha de ganho)**

Nesta fase os utilizadores jogaram durante um tempo não fixo (em geral inferior a 1 minuto) um jogo que consiste em percorrer um ambiente virtual simples, tendo como objectivo escolher o melhor ganho.

### **2ª Fase – Jogo no ambiente virtual Maze**

Nesta fase os utilizadores jogaram durante um tempo fixo (5 minutos) um jogo que consiste em percorrer um ambiente virtual em forma de labirinto (Maze), tendo como objectivo apanhar 21 objectos existentes nesse labirinto. Esta fase foi realizada à semelhança da experiência A. A opção 3D do HMD estava desactivada.

### **3ª Fase – Questionário para estabelecer o perfil dos utilizadores**

O questionário a que os utilizadores responderam nesta fase integra uma série de questões que têm por objectivo caracterizar cada utilizador quanto a alguns aspectos que podem ser importantes para o seu desempenho: idade, profissão, familiaridade com

---

imagens 3D, se utiliza muito o computador para jogar e qual o tipo de jogo, quantas horas joga por dia e qual o dispositivo de entrada que utiliza. Este questionário foi semelhante ao utilizado na experiência anterior com a diferença de incluir uma questão a perguntar se modificaria novamente o ganho se voltasse a realizar a experiência. Pode-se consultar o questionário no anexo.

#### 4.3.4. Resultados

Comparam-se os resultados das duas experiências, de modo a ser possível verificar se a diferença nos resultados é relevante.

##### **Perfil dos utilizadores**

Na experiência B 15 utilizadores são estudantes e 1 é trabalhador estudante, sendo 14 do sexo masculino e dois do sexo feminino. Todos estes utilizadores têm idades compreendidas entre os 15 e os 30 anos.

Os utilizadores utilizam muito o computador, e apesar de o utilizarem muito para jogar poucos têm experiência em Realidade Virtual.

Os utilizadores participantes na experiência A são estudantes do ensino secundário, quatro são do sexo feminino e dezasseis do sexo masculino, sendo que sete têm idade inferior a quinze anos e catorze superior a dezasseis. Todos os utilizadores utilizam muito o computador. Todos os utilizadores têm experiência em jogos e apenas 8 não têm experiência em imagens tridimensionais.

Embora os dois conjuntos de utilizadores difiram nas idades, as suas características relevantes para este estudo são análogas: nunca tinham tido contacto com esta tecnologia, usam muito o computador, nomeadamente para jogar.

##### **Dados de desempenho registados pelo sistema**

As medianas dos dados da experiências A e B encontram-se na tabela 4:

---

	Experiência B	Experiência A
	Mediana	Mediana
Número de objectos	15	18
Número de colisões	46	36
Velocidade	9,1	9,3
Distância percorrida	756,5	771,5

Tabela 4: Mediana dos dados de desempenho da experiência B

Estes dados registados podem ser verificados mais em pormenor no anexo.

### **Ganho**

A tabela 5 refere-se à média e à mediana relativamente aos ganhos utilizados nas experiências. Como se pode observar, o ganho utilizado na experiência B, escolhido pelos próprios utilizadores, foi muito superior ao utilizado na experiência A.

	Média	Mediana
Experiência A	1	1
Experiência B	2,2	2,1

Tabela 5: Média e mediana dos ganhos das experiências A e B

### **Número de objectos apanhados**

Analisando a tabela 6, podemos observar as medianas das duas experiências efectuadas, sendo a mediana da experiência A 18 e a mediana da experiência B 15.

Observando o gráfico 1, pode concluir que a velocidade seleccionada pelos utilizadores não foi a mais adequada à tarefa, pois o seu desempenho foi pior do que quando jogaram com a velocidade escolhida por omissão.



---

	Média	Mediana
Experiência A	16,9	18
Experiência B	15	15

Tabela 6: Média e mediana do número de objectos apanhados das duas experiências

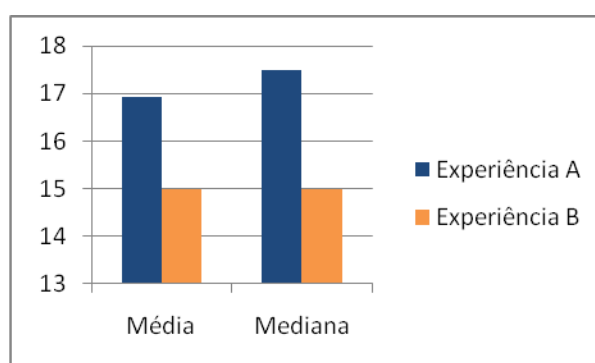


Gráfico 1: Médias e medianas dos objectos apanhados nas experiências A e B

### Número de colisões

Como se pode verificar na tabela 7, o número de colisões da experiência B é superior ao número de colisões da experiência A. O maior número de colisões na experiência B pode estar relacionado com a maior velocidade com que os utilizadores jogaram nessa experiência, levando a que estes tivessem um menor controlo nas mudanças de direcção.

	Média	Mediana
Experiência A	39	36
Experiência B	51,88	46

Tabela 7: Média e mediana do número de colisões das experiências A e B

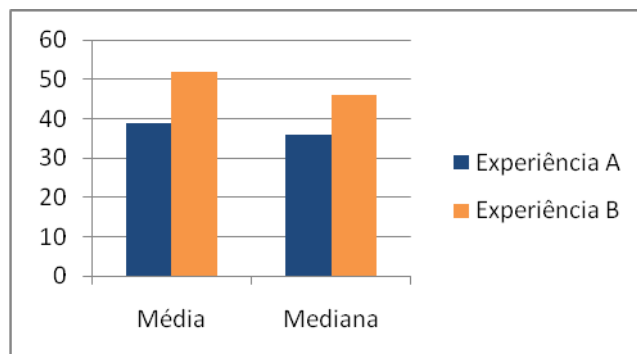


Gráfico 2: Média e mediana do número de colisões das experiências A e B

### Velocidade e distância percorrida

A tabela 8 mostra os dados da velocidade e distância percorrida. Estes dois conceitos estão relacionados, pois em geral quanto maior for a velocidade maior será a distancia percorrida. Não existe grande diferença entre as duas experiências, pois apesar de na experiência B o jogador ter uma velocidade instantânea maior, esta é compensada pelo maior número de colisões, ou seja, o jogador na experiência B também esteve mais tempo parado.

	Velocidade média		Distância percorrida	
	Média	Mediana	Média	Mediana
Experiência A	9,3	9,3	766,3	771,5
Experiência B	9,1	9,1	743,2	756,5

Tabela 8: Média e mediana da velocidade média e distância percorrida das experiências A e B

---

## Sintomas

Comparando os sintomas registados durante a utilização do HMD das duas experiências nas tabelas 9 e 10 verifica-se que estes são semelhantes, sendo que a maior parte dos utilizadores não sentiu tonturas nem enjoos.

	Tonturas	Enjoos
Nada	12	13
Pouco	2	3
Muito	2	0

Tabela 9: Sintomas dos utilizadores da experiência B quando utilizaram o HMD

Sintomas	Tonturas		Enjoos	
Plataforma	HMD	<i>Desktop</i>	HMD	<i>Desktop</i>
Nada	16	18	19	19
Pouco	4	3	2	2
Muito	1	0	0	0

Tabela 10: Sintomas dos utilizadores da experiência A quando utilizaram o HMD

## Preferências dos utilizadores

A dificuldade mais referida foi a utilização do HMD, pois é pouco confortável e uma das sugestões em maior número foi a possível utilização de um HMD sem fio. A maior parte dos utilizadores também sugeriu a utilização de um dispositivo sem fio como dispositivo de entrada em vez do rato com fio.

De um modo geral, os resultados não foram de encontro ao esperado, pois esperava-

---

se um maior desempenho por parte dos utilizadores quando lhes foi dado a hipótese de escolher a velocidade do jogador. O fraco desempenho pode dever-se ao facto de a velocidade escolhida não ser a mais indicada, pois apesar de o jogador ter maior velocidade não significou que percorresse maior distância, pois teve muitas colisões. O facto de o ambiente de escolha da velocidade ser muito simples pode ter levado a uma escolha de velocidade muito elevada.

## 4.4. Experiência 2 – Influência dos dispositivos de entrada no desempenho dos utilizadores

### 4.4.1. Trabalho anterior

Em face de resultados de experiências anteriores (Santos 2008), foi considerada a possibilidade de melhorar o desempenho dos utilizadores usando dispositivos de entrada diferentes. Assim, o objectivo desta experiência foi comparar o desempenho de um grupo de 15 utilizadores utilizando *desktop* (rato e teclado) e utilizando HMD (*Intersense* e *wiimote*).

### 4.4.2. Software utilizado

O software utilizado nesta experiência controlada foi a aplicação Modelo 3D referida no capítulo 3 com as alterações efectuadas.

O objectivo da aplicação é seleccionar uma cor na paleta de cores e seleccionar a parede com a respectiva cor.

### 4.4.3. Metodologia

As principais características desta experiência foram as seguintes:

- **Hipótese a testar:** a utilização de diferentes dispositivos de entrada não tem influência no desempenho dos utilizadores nas circunstâncias em causa;

- **Variável independente:** dispositivo de entrada;

- 
- **Variáveis dependentes:** número de cores mudadas, tempo total;
  - **Participantes:** 15 alunos da Academia de Verão;
  - **Dispositivos de entrada:** *Desktop* (rato e teclado); HMD (*Intersense* e wiimote);
  - **Método experimental:** within groups (i.e. todos os utilizadores usaram todas as condições experimentais: correspondente a diferentes dispositivos de entrada);
  - **Dados recolhidos:**

Esta experiência integrou várias fases. Na primeira fase os utilizadores treinaram num modelo simples para se adaptarem aos dispositivos de entrada. Assim que se sentiam confortáveis com o dispositivo de entrada procedia-se para a fase seguinte. Nesta fase os utilizadores jogavam no modelo final, quer com *Intersense* e wiimote, quer com rato e teclado, tendo-se recolhido dados quanto ao seu desempenho bem como quanto ao seu comportamento. Os dispositivos de entrada foram utilizados alternadamente pelos participantes, havendo um grupo que começou por utilizar um tipo de dispositivo e outro grupo que começou com outro tipo de dispositivo, para evitar eventuais efeitos de aprendizagem. Finalmente na última fase procedeu-se à identificação do perfil do utilizador através dum questionário construído com base num questionário anterior (Santos 2008), tendo sido adicionadas algumas questões pertinentes acerca da experiência. Este questionário pode ser consultado no anexo.

Descrevem-se a seguir mais detalhadamente as várias fases.

### **1ª Fase – Treino com o dispositivo de entrada**

Nesta fase os utilizadores jogaram durante um tempo não fixo um jogo onde o jogador se encontra dentro de um cubo, sendo as paredes deste constituídas por células de cores diferentes. O objectivo será escolher a cor de uma paleta de cores e seleccionar a célula correspondente a essa cor.

### **2ª Fase – Jogo no modelo**

Nesta fase os utilizadores jogaram durante um tempo não fixo o jogo descrito anteriormente, sendo o cubo constituído por um número de células mais elevado. A opção

---

3D do HMD estava desactivada.

A primeira e segunda fase foram efectuadas alternadamente quer com *desktop* quer com HMD, pois se o primeiro dispositivo de entrada fosse sempre o mesmo, poderiam aparecer efeitos de aprendizagem que influenciariam os resultados.

### **3ª Fase – Questionário para estabelecer o perfil dos utilizadores**

O questionário a que os utilizadores responderam nesta fase integra uma série de questões que têm por objectivo caracterizar cada utilizador quanto a alguns aspectos que podem ser importantes para o seu desempenho: idade, profissão, familiaridade com imagens 3D, se utiliza muito o computador para jogar e qual o tipo de jogo, quantas horas joga por dia e qual o dispositivo de entrada que utiliza.

#### **4.4.4. Resultados**

##### **Perfil dos utilizadores**

Este grupo de utilizadores é constituído por 5 elementos do sexo feminino e 10 elementos do sexo masculino, sendo todos estes estudantes. A maioria dos utilizadores (11) tem idade compreendida entre os 16 e os 30 anos enquanto que 4 destes utilizadores tem idade inferior a 15 anos. Este grupo de utilizadores utiliza o computador frequentemente e é experimentado em imagens tridimensionais.

##### **Tempo total**

A tabela 11 mostra o tempo que cada utilizador levou para completar a tarefa. Pelas médias e medianas dos tempos de cada experiência é fácil observar que utilizar o *desktop* neste tipo de tarefas é muito mais eficiente, pois usando o HMD demora-se em média cerca do quádruplo do tempo.

	HMD	Desktop
Média	135,8	43,3
Mediana	129	37

Tabela 11:Média e mediana dos tempos totais (s) da experiência 2

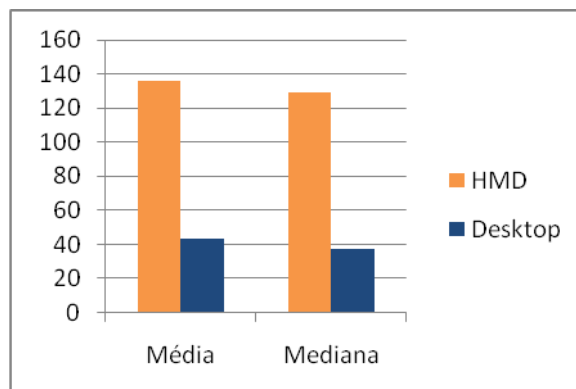


Gráfico 3: Média e mediana dos tempos totais (s) da experiência 2

### Sintomas

A grande maioria dos utilizadores referiu que se sentia mais confortável na experiência com o *desktop* do que na experiência com o HMD. Só um utilizador sentiu algumas tonturas e nenhum sentiu enjojo mas a maioria dos utilizadores revelou que se sentiram mais desorientados na experiência com HMD do que com a experiência com o *desktop*.

### Dificuldades

Como se pode ver na tabela 12, os utilizadores tiveram maior dificuldade em seleccionar as células na experiência com o HMD do que na experiência com o *desktop*. A dificuldade de rodar o modelo é igual nas duas experiências.

HMD	Seleccionar células	Rodar o modelo
	3	2
Rato	Seleccionar células	Rodar o modelo
	1	2

Tabela 12: Mediana dos valores de dificuldade indicados pelos utilizadores em seleccionar as células e rodar o modelo; 1->pouco, 2->médio, 3->muito difícil

---

## Satisfação e preferências

A tabela 13 refere-se às preferências dos utilizadores acerca dos dispositivos de entrada que utilizaram. A plataforma com o HMD é a preferida dos utilizadores e com uso mais natural, enquanto o *desktop* é mais confortável e mais eficiente.

	HMD	<i>Desktop</i>
Preferida	12	3
Mais natural	10	5
Mais rápida	3	12
Mais confortável	5	10

Tabela 13: Preferências dos utilizadores da experiência 2

Os resultados desta experiência não foram de encontro ao esperado, pois tendo sido uma experiência de imersão onde o uso do HMD deveria ser uma vantagem, os resultados demonstram que essa vantagem não existiu. Isso pode dever-se ao facto de os utilizadores terem pouca prática com o HMD ao contrário do *desktop*. Note-se que a maioria dos utilizadores nesta experiência, embora tenha tido mais dificuldades e menos desempenho com o HMD, considerou-o mais natural e preferível em relação ao *desktop*. Isto pode, talvez, ser atribuído ao factor “novidade”.

## 4.5. Experiência 3 – Influência da utilização de múltiplas texturas no desempenho dos utilizadores

No seguimento de experiências anteriores (Santos 2008) e com base num estudo efectuado sobre navegação em ambientes virtuais com guias (Smith and Marsh 2004), isto é, com marcas nas texturas do mapa a navegar, foi considerada a possibilidade de o desempenho dos utilizadores ser influenciado pelo uso de diferentes texturas no mapa. Esse desempenho é avaliado pelo número de caixas que o utilizador apanhar quando utilizar o software OGREMaze descrito no capítulo 3. Para além de ser comparado o desempenho entre esses dois mapas também foi comparado o desempenho com dois tipos de dispositivos de entrada: *desktop* (rato e teclado) e HMD (*Intersense* e *wiimote*), ou seja, cada utilizador jogou quatro vezes. Para evitar a influência da aprendizagem do jogo, a



---

utilização do primeiro dispositivo de entrada a usar por cada utilizador foi alternada.

#### 4.5.1. Metodologia

As principais características desta experiência foram as seguintes:

- **Hipótese a testar:** a utilização de diferentes texturas no mapa não influencia o desempenho dos utilizadores;
- **Variáveis independentes:** texturas; dispositivos de entrada;
- **Variáveis dependentes** número de objectos apanhados, número de colisões, tempo total;
- **Participantes:** 14 alunos universitários;
- **Dispositivos de entrada:** HMD (*Intersense* e *wiimote*); *Desktop* (rato e teclado);
- **Método experimental:** within groups (i.e. todos os utilizadores usaram todas as condições experimentais);
- **Dados recolhidos:**

Esta experiência integrou várias fases. Na primeira fase os utilizadores jogaram alternadamente num mapa com várias texturas e num mapa com uma só textura. Também jogaram alternadamente com diferentes dispositivos de entrada, *desktop* (rato e teclado) ou HMD (*Intersense* e *wiimote*), tendo-se recolhido dados quanto ao seu desempenho bem como quanto ao seu comportamento. Finalmente na última fase procedeu-se à identificação do perfil do utilizador através dum questionário, que incluía questões acerca dos seus sintomas e preferências.

Descrevem-se a seguir mais detalhadamente as várias fases.

##### **1ª Fase – Jogo alternado em mapa com/sem texturas com HMD/desktop**

Nesta fase os utilizadores jogaram durante um tempo fixo (5 minutos) um jogo que consiste em apanhar o maior número de caixas num mapa com/sem texturas e com dois

---

tipos de dispositivos de entrada. De maneira a simplificar, os utilizadores foram numerados, sendo que os utilizadores ímpares jogariam primeiro com o *desktop* e os utilizadores pares jogariam primeiro com o HMD. A opção 3D do HMD estava desactivada no caso de utilizar o HMD.

### **2ª Fase – Questionário para estabelecer o perfil dos utilizadores**

O questionário a que os utilizadores responderam nesta fase integra, tal como nas experiências anteriores, uma série de questões que têm por objectivo caracterizar cada utilizador quanto a alguns aspectos que podem ser importantes para o seu desempenho: idade, profissão, familiaridade com imagens 3D, se utiliza muito o computador para jogar e qual o tipo de jogo, quantas horas joga por dia e qual o dispositivo de entrada que utiliza. Também integra questões sobre os sintomas sentidos durante a experiência, tais como náuseas, vertigens ou desorientação. Estas questões foram feitas com base em experiências realizadas anteriormente (Bruck and Watters 2009) (Santos 2008) e com base num questionário já existente sobre sintomas em ambientes de Realidade Virtual (Technology 2003). As questões relativamente à desorientação foram feitas com base numa experiência em que os utilizadores tiveram de medir o seu grau de desorientação através de um questionário (Yatim 2002).

#### **4.5.2. Resultados**

Apresentam-se e analisam-se em seguida os resultados da experiência. Isso engloba os dados registados pelo sistema e os dados obtidos através do questionário final.

#### **Perfil dos utilizadores**

Nesta experiência foram 14 os utilizadores estudantes universitários que participaram, sendo 13 do sexo masculino e 1 do sexo feminino. Todos estes utilizadores têm idades compreendidas entre os 15 e os 30 anos e a maior parte utiliza muito o computador, embora não tenham experiência em Realidade Virtual. No anexo pode-se visualizar o perfil dos utilizadores mais detalhadamente.

---

### Dados de desempenho registados pelo sistema

A tabela 14 mostra as médias e medianas dos dados registados pelo sistema aquando da utilização do mapa sem texturas, e a tabela 15 mostra as médias e medianas aquando da utilização do mapa com texturas. Esses dados registados pelo sistema são compostos pelo número de objectos apanhados, número total de colisões, distância percorrida e velocidade média. Os dados podem ser vistos com mais detalhe no anexo.

	Sem texturas							
	Desktop				HMD			
	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
Média	19,9	138,2	392,2	5,4	14,9	155,6	310,1	3,9
Mediana	20	143	397,4	5,4	14,4	164	328,7	4,0

Tabela 14: Tabela comparativa dos dados recolhidos pelo sistema na experiência 3 aquando da utilização do mapa sem texturas

	Com texturas							
	Desktop				HMD			
	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
Média	19,9	138,5	381,1	5,4	18,1	135,4	318,5	4,1
Mediana	20	147	380,7	5,5	19	146	334,9	4,2

Tabela 15: Tabela comparativa dos dados recolhidos pelo sistema na experiência 3 aquando da utilização do mapa com texturas

### Número de objectos apanhados

Como se pode observar na tabela 16, o número de objectos apanhados quando se utiliza o *desktop* é muito semelhante, enquanto o número de objectos apanhados quando se utiliza o HMD varia bastante entre as situações com e sem textura.

- No caso do dispositivo de entrada ser o *desktop*

A média e a mediana do número de objectos apanhados é igual, pelo que a utilização

---

de diferentes texturas no mapa parece não influenciar o desempenho dos utilizadores quando utilizam este tipo de dispositivo de entrada

- No caso do dispositivo de entrada ser o HMD

A média e a mediana do número de objectos apanhados varia muito, pelo que a utilização de diferentes texturas no mapa parece ajudar os utilizadores a orientarem-se.

	Sem texturas		Com texturas	
	<i>Desktop</i>	HMD	<i>Desktop</i>	HMD
	Tot objs	Tot objs	Tot objs	Tot objs
Média	19,9	14,9	19,9	18,1
Mediana	20	14	20	19

Tabela 16: Média e mediana do número de objectos apanhados nos dois tipos de mapa: com e sem texturas

### Número de colisões

Observando a tabela 17, podemos concluir que o número de colisões nos dois tipos de mapa é semelhante.

- No caso do dispositivo de entrada ser o *desktop*

Não há grande diferença entre o número de colisões entre os dois tipos de mapa

- No caso do dispositivo de entrada ser o HMD

Há uma pequena diferença entre os dois tipos de mapa, que pode dever-se ao facto de que no mapa com várias texturas os utilizadores não andarem sem rumo como andam quando o mapa tem uma única textura.

	Sem texturas		Com texturas	
	<i>Desktop</i>	HMD	<i>Desktop</i>	HMD
	Tot Col	Tot Col	Tot Col	Tot Col
Média	138,2	155,6	138,5	135,4
Mediana	143	164	147	146

Tabela 17: Média e mediana do número de colisões nos dois tipos de mapa: com e sem texturas

---

### Velocidade e distância percorrida

Com base na tabela 18, as médias e medianas sobre velocidade média e distância percorrida nos dois tipos de mapas são semelhantes. Isso pode dever-se ao facto de os jogadores nunca pararem enquanto jogam, mesmo que se dirijam a um local por onde já passaram.

	Sem texturas				Com texturas			
	Desktop		HMD		Desktop		HMD	
	Dist perc	Vel	Dist perc	Vel	Dist perc	Vel	Dist perc	Vel
Média	392,2429	5,399071	310,05	3,9365	381,1143	5,499643	318,547	4,090513
Mediana	397,4643	5,445	328,75	4,0275	380,75	5,563214	334,9231	4,18

Tabela 18: Média e mediana da velocidade e da distância percorrida nos dois tipos de mapa: com e sem texturas

### Sintomas

Observando as tabelas 19, 20 e 21, podemos verificar que os utilizadores não tiveram grandes dificuldades em jogar o jogo. Relativamente às questões sobre conforto, foi notório que alguns utilizadores sentiram desconforto. Relativamente às questões sobre desorientação, são de salientar as seguintes: “Sentiu-se desorientado durante o jogo?”, “Sentiu que se movimentava em círculos?” pois a maior parte dos utilizadores respondeu “muito” a estas questões, sendo que no caso da utilização do mapa com textura única o número de utilizadores a responder “muito” foi maior que no caso do mapa com várias texturas.

	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura
	Foi difícil apanhar os objectos		Foi difícil percorrer os corredores		Foi difícil entrar nas entradas		Sentiu-se tonto durante o jogo		Sentiu desconforto		Teve enjoo	
Pouco	6	9	5	9	6	10	10	12	7	7	13	13
Normal	5	3	5	4	7	3	3	1	4	4	1	1
Muito	3	2	4	1	1	1	1	1	3	3	0	0

Tabela 19: Sintomas dos utilizadores; 1->pouco, 2->médio, 3->muito

---

	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura
	Teve dor de cabeça		Teve sonolência		Teve visão desfocada		Teve dificuldade em focar		Sentiu-se fatigado		Teve dificuldade em concentrar-se	
Pouco	12	13	13	13	7	8	7	7	10	10	5	8
Normal	1	0	1	1	7	6	5	4	3	3	8	5
Muito	1	1	0	0	0	0	2	3	1	1	1	1

Tabela 20: Sintomas dos utilizadores; 1->pouco, 2->médio, 3->muito

	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura
	Sentiu-se desorientado durante o jogo		Sentiu que se movimentava em círculos		Tinha noção do sítio onde se encontrava		Sabia onde se dirigir a seguir		Sabia onde se dirigir de modo a apanhar os objectos que faltavam		Gostou de jogar	
Pouco	1	3	2	3	7	4	5	1	9	4	0	0
Normal	3	6	5	5	7	9	9	13	5	9	4	3
Muito	10	5	7	6	0	1	0	0	0	1	10	11

Tabela 21: Sintomas dos utilizadores; 1->pouco, 2->médio, 3->muito

### Preferências dos utilizadores

A maioria dos utilizadores referiu o uso do HMD como muito desconfortável, tendo uma grande parte dos utilizadores sugerido a utilização de um HMD sem fio e mais leve.

Os valores relativos aos sintomas dos utilizadores só foram registados no caso da utilização do HMD, pois no caso da utilização do *desktop* não fazia sentido este questionário, dado que este foi elaborado com base em questionários feitos para simuladores e outros tipos de HMD.

---

Analisando os resultados de um modo geral, podemos verificar que apesar de no mapa com uma única textura a velocidade média e a distância percorrida serem semelhantes, o desempenho com o HMD é significativamente menor, o que leva a concluir que os utilizadores passavam várias vezes pela mesma zona, demonstrando grande desorientação. Sendo assim, tudo indica que no caso do uso do HMD a utilização de várias texturas no mapa ajuda na orientação nesse ambiente virtual.

## 4.6. Experiência 4 – Influência do treino no desempenho dos utilizadores

Em face de resultados de experiências anteriores (Santos 2008), foi considerada a possibilidade de o treino influenciar o desempenho dos utilizadores, isto é, a repetição da tarefa influenciar o desempenho dos utilizadores aumentando o desempenho dos utilizadores ao utilizarem o HMD, comparativamente ao desempenho que obtiveram ao utilizar o *desktop*. Assim, o objectivo da experiência foi comparar o desempenho dos utilizadores ao longo do tempo. Foram utilizados dois tipos de dispositivos de entrada, *desktop* (rato e teclado) e HMD (*Intersense* e *wiimote*), e o software utilizado foi o OGREMaze descrito no capítulo 3.

### 4.6.1. Metodologia

As principais características desta experiência foram as seguintes:

- **Hipótese a testar:** a repetida utilização do software e plataforma não influencia o desempenho dos utilizadores;
- **Variável independente:** treino;
- **Variáveis dependentes** número de objectos apanhados, número de colisões, tempo total;
- **Participantes:** 12

---

- **Dispositivos de entrada:** HMD; *Desktop*;

- **Método experimental:** within groups (i.e. todos os utilizadores usaram todas as condições experimentais);

- **Dados recolhidos:**

Esta experiência integrou várias fases. Nas primeiras fases os utilizadores jogaram alternadamente num mapa com dois tipos de dispositivos de entrada: *desktop* (rato e teclado) ou HMD (*Intersense* e wiimote), tendo-se recolhido dados quanto ao seu desempenho bem como quanto ao seu comportamento. Estas primeiras fases foram efectuadas em dias diferentes, de modo a ser possível verificar a influência do treino. Procedeu-se à identificação do perfil do utilizador através dum questionário. No fim de cada fase, questionaram-se os utilizadores sobre os seus sintomas e preferências, usando um questionário semelhante ao da experiência 3 (que pode ser consultado no anexo).

Descrevem-se a seguir mais detalhadamente as várias fases.

#### **1ª Fase – Jogo alternado em mapa com HMD/desktop**

Nesta fase os utilizadores jogaram durante um tempo fixo (5 minutos) um jogo que consiste em apanhar o maior número de caixas num mapa com dois tipos de dispositivos de entrada. A opção 3D do HMD estava desactivada.

#### **2ª Fase – Questionário para estabelecer o perfil dos utilizadores**

O questionário a que os utilizadores responderam nesta fase integra, tal como nas experiências anteriores, uma série de questões que têm por objectivo caracterizar cada utilizador quanto a alguns aspectos que podem ser importantes para o seu desempenho: idade, profissão, familiaridade com imagens 3D, se utiliza muito o computador para jogar e qual o tipo de jogo, quantas horas joga por dia e qual o dispositivo de entrada que utiliza. Também integra questões sobre os sintomas sentidos durante a experiência, tais como náuseas, vertigens ou desorientação. Estas questões foram feitas com base em experiências realizadas anteriormente (Bruck and Watters 2009) (Santos 2008) e com base num questionário já existente sobre sintomas em ambientes de Realidade Virtual (Technology 2003). As questões relativamente à desorientação foram feitas com base numa experiência em que os utilizadores tiveram de avaliar o seu grau de desorientação através de um questionário (Yatim 2002).



---

Estas duas fases descritas anteriormente foram repetidas por quatro vezes, dando origem a quatro amostras de dados. As repetições foram feitas com uma semana de intervalo, com excepção da repetição 3 que teve 2 semanas de intervalo em relação à repetição 2.

De maneira a evitar que os participantes se habituassem à ordem de utilização do tipo de dispositivo de entrada, os utilizadores foram numerados, sendo que os utilizadores ímpares jogaram primeiro com o *desktop* nas sessões ímpares e os utilizadores pares jogariam primeiro com o HMD nas sessões pares. Estas fases foram realizadas em dias diferentes.

#### 4.6.2. Resultados

Na secção seguinte irão ser apresentados e analisados os resultados da experiência. Isso engloba os dados registados pelo sistema e os dados obtidos através do questionário final.

##### **Perfil dos utilizadores**

Nesta experiência participaram 12 utilizadores, sendo estes estudantes de idades compreendidas entre os 15 e 30 anos. Como se pode observar na tabela 22, 11 são do sexo masculino e 1 é do sexo feminino. Todos estes utilizadores não tinham experiência com RV, sendo que todos utilizam muito o computador, e metade utiliza muito o computador para jogos. Um terço está muito familiarizado com imagens tridimensionais e outro terço não utiliza imagens tridimensionais.

Utilizador	Utiliza muito o computador	Utiliza o computador para jogar	Utiliza imagens tridimensionais
Pouco	0	0	4
Normal	0	6	4
Muito	12	6	4

Tabela 22: Perfil dos utilizadores da experiência 4

---

### Dados de desempenho registados pelo sistema

Observando as tabelas 23, 24, 25 e 26, que representam a média e mediana dos dados recolhidos nas sessões 1, 2, 3 e 4 respectivamente, podemos fazer uma análise rápida da experiência. Relativamente ao número de objectos apanhados, no caso do *desktop*, não houve uma grande variação, enquanto no caso do HMD houve uma evolução. No caso das colisões, velocidade média e distância percorrida também houve uma melhoria ao longo do tempo. Mais à frente estes dados serão analisados com mais pormenor.

	Sessão 1							
	Desktop				HMD			
	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
Média	20,2	140,1	406,0	5,5	16,5	171,8	329,4	4,0
Mediana	20	149	417,3	5,5	17,5	177	340,5	4,1

Tabela 23: Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 1

	Sessão 2							
	Desktop				HMD			
Utilizador	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
Média	20,2	136,2	391,0	5,4	18,7	148,4	336,2	4,23
Mediana	20	134	411	5,3	19	146	336	4,5

Tabela 24: Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 2

	Sessão 3							
	Desktop				HMD			
Utilizador	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
Média	19,8	126,3	387,0	5,4	19,2	151,5	367,6	4,4
Mediana	20	132	413,0	5,4	19	155,5	371	4,4

Tabela 25: Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 3

---

	Sessão 4							
	Desktop				HMD			
Utilizador	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
Média	20,2	130,1	385,7	5,5	19,3	148,3	345,1	4,5
Mediana	21	133,5	385	5,6	20	140,5	357,5	4,5

Tabela 26:Dados de desempenho registados pelo sistema na sessão 4

### Número de objectos apanhados

No gráfico 4 pode-se observar a evolução do desempenho dos utilizadores ao longo das 4 sessões. No caso do *desktop*, não se nota uma grande evolução, apenas na última sessão houve uma melhoria nos resultados. No caso do HMD, existe claramente uma melhoria no desempenho dos utilizadores ao longo do tempo, pois das sessões 1 para a 2 existe uma melhoria de cerca de 2 objectos, estabilizando esse valor até à sessão 3, voltando a aumentar o desempenho na sessão 4.

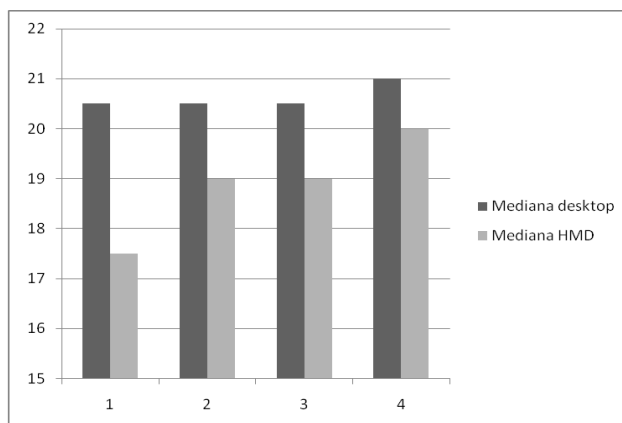


Gráfico 4: Mediana do número de objectos apanhados nas quatro sessões

### Número de colisões

O número de colisões permite avaliar se o utilizador aprende a navegar no ambiente,

---

ou seja, percorre o mapa sem colidir tanto com as paredes. Teoricamente esse valor teria de diminuir ao longo das sessões. Observando o gráfico 5, pode-se verificar que o número de colisões no *desktop* diminui ao longo das sessões. No caso do HMD, a tendência também é para diminuir, mas houve um pequeno aumento na sessão 3. Esse aumento poderá ser derivado da estratégia utilizada nessa sessão, pois alguns utilizadores navegavam no mapa encostados às paredes, aumentando substancialmente o número de colisões. O intervalo de tempo entre as sessões 2 e 3 foi o maior de entre todas as sessões, o que também poderá ter influenciado o desempenho dos utilizadores.

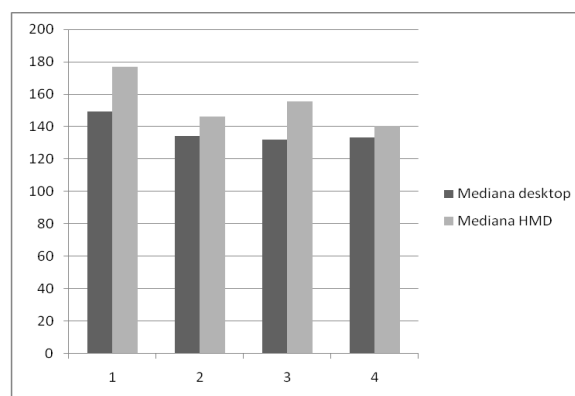


Gráfico 5: Mediana do número de colisões ao longo das 4 sessões

### **Distância percorrida e velocidade média**

Distância percorrida e velocidade média estão naturalmente interligados, pois quanto maior for a velocidade média maior será a distância percorrida. Observando os gráficos 6 e 7 podemos verificar que a velocidade média no caso do HMD sofre pequenos aumentos ao longo das sessões. No caso do *desktop* a velocidade média mantém valores relativamente constantes. A distância percorrida, tal como a velocidade média sofrem pequenas alterações ao longo do tempo.

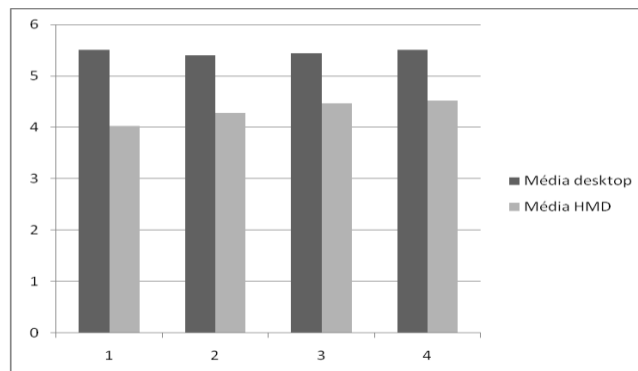


Gráfico 6: Média das velocidades médias ao longo das 4 sessões

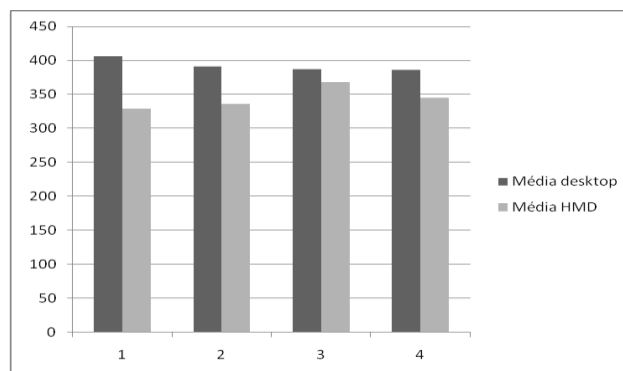


Gráfico 7: Média das distâncias percorridas ao longo das 4 sessões

## **- Sintomas com o HMD**

De seguida irão ser analisados os sintomas mais relevantes sofridos pelos utilizadores ao longo das sessões. Estes sintomas estão orientados no caso do uso do HMD, pois só com a utilização desse dispositivo de entrada faz sentido a análise de sintomas como vertigem, tontura ou dificuldades visuais. Para uma informação mais detalhada pode-se consultar o anexo.

### **Dificuldade em apanhar os objectos**

Fazendo uma análise ao gráfico 8, é perceptível uma evolução favorável nas

---

dificuldades em apanhar objectos, pois na sessão1 alguns utilizadores sentiram muitas dificuldades em apanhar os objectos, sendo que na sessão 2 já tiveram menor dificuldade. Ao longo das sessões é visível o aumento de utilizadores que tiveram pouca dificuldade em apanhar os objectos.

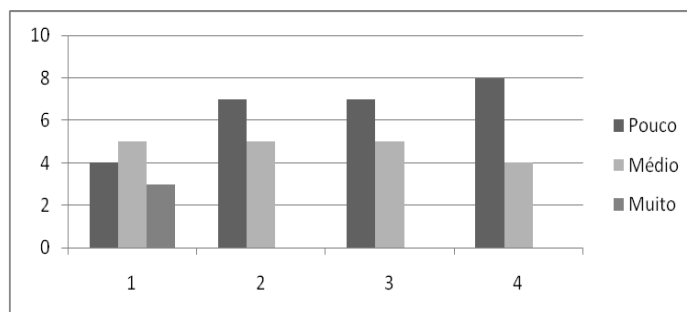


Gráfico 8: Dificuldade em apanhar objectos com o HMD ao longo das 4 sessões

### **Dificuldade em percorrer os corredores**

O gráfico 9 mostra a dificuldade dos utilizadores em percorrer os corredores. Inicialmente a grande maioria sentiu algumas ou muitas dificuldades em percorrer os corredores. Ao longo das sessões essas dificuldades foram ultrapassadas, sendo que nas sessões 3 e 4 só 3 utilizadores tiveram dificuldades em percorrer os corredores.

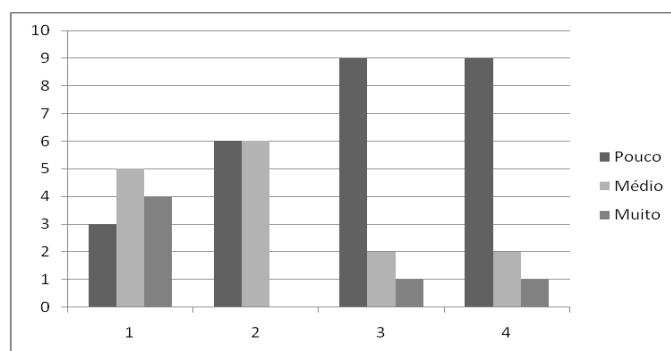


Gráfico 9: Dificuldade em percorrer os corredores com o HMD ao longo das 4 sessões

---

### Tonturas durante o jogo

No gráfico 10 é visível a evolução das tonturas durante o jogo ao longo das sessões. Nas sessões 1, 2 e 3 alguns utilizadores sentiram algumas tonturas sendo que na sessão 4 nenhum sentiu.

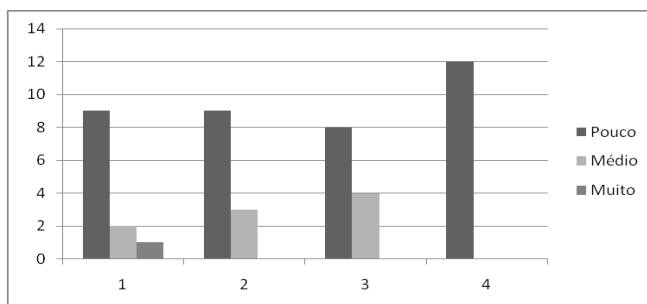


Gráfico 10: Tonturas durante o jogo com o HMD ao longo das 4 sessões

### Desorientação durante o jogo

Este é um sintoma interessante de analisar pois não tem o comportamento esperado. Na sessão 1 existe uma grande desorientação por parte dos utilizadores, tendo uma grande evolução para a sessão 2. Da sessão 2 para as seguintes o número de utilizadores desorientados volta a aumentar. Na sessão 1 fica claro que os utilizadores estavam muito desorientados, isso deve-se ao facto do mapa ser confuso e ao facto de o HMD ser “novidade” para os utilizadores. O facto de os utilizadores se sentirem muito menos confusos na sessão 2 pode dever-se ao facto de o factor “novidade” do HMD já não existir ou não ser tão forte.

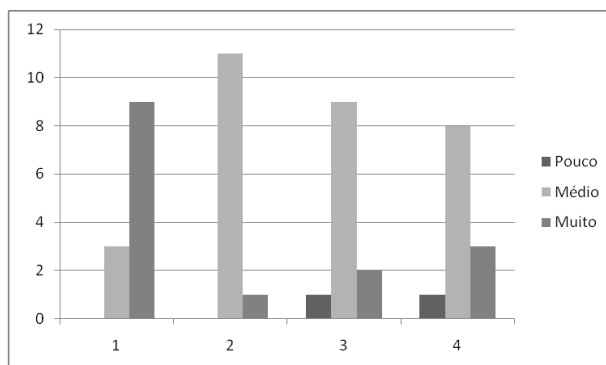


Gráfico 11: Desorientação durante o jogo com o HMD ao longo das 4 sessões

---

---

### Sabia onde se dirigir a seguir

Segundo o gráfico 12, existe uma evolução acerca da orientação do utilizador no mapa, no entanto nenhum utilizador tinha a certeza para onde se dirigir a seguir.

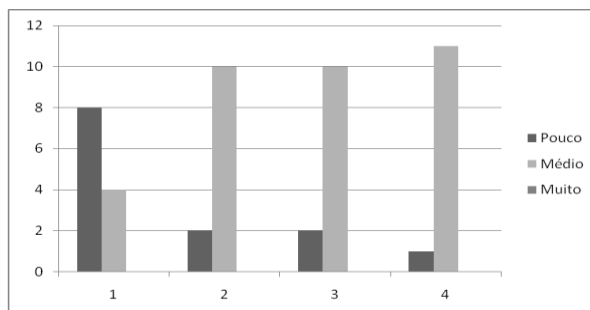


Gráfico 12: Sabiam onde se dirigir com o HMD ao longo das 4 sessões

### Sentiu desconforto

Neste sintoma também é visível uma evolução pois o número de utilizadores que sentiram desconforto diminuiu ou estes sentiram menos desconforto ao longo das sessões como se pode ver no gráfico 13.

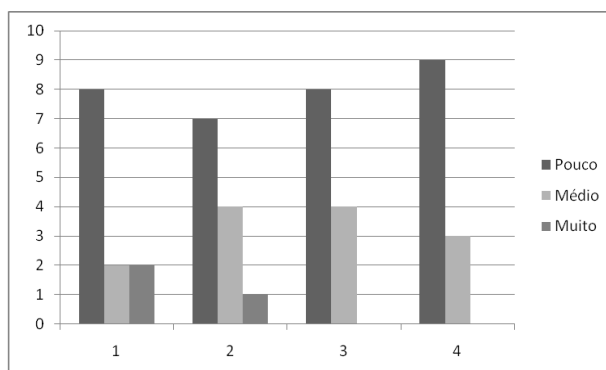


Gráfico 13: Desconforto dos utilizadores com o HMD ao longo das 4 sessões



---

### Sentiu dor de cabeça

O gráfico 14 mostra a evolução ao longo do tempo dos utilizadores que sentiram dor de cabeça. Como se pode observar, só na sessão 1 existiram casos de dor de cabeça.

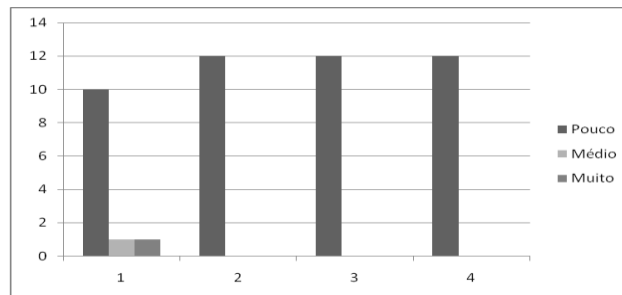


Gráfico 14: Dor de cabeça com o HMD ao longo dos 4 treinos

### Preferências dos utilizadores

Como na experiência anterior, onde foi utilizado o HMD, os utilizadores sugeriram a utilização de um HMD sem fio e mais leve, pois a maior parte queixou-se deste ser muito pesado e desconfortável.

Observando os resultados, pode-se observar uma melhoria em termos de desempenho no número de objectos apanhados ao longo das 4 sessões, sendo essa melhoria evidente no caso do HMD. Enquanto no caso do *desktop* não se visualizam grandes melhorias ao longo das sessões nos casos do número de colisões, velocidade média e distância percorrida, o mesmo não se passa no caso do HMD. O facto de essas melhorias só acontecerem no caso do HMD pode dever-se ao facto de os utilizadores terem pouca prática com este dispositivo e terem-se adaptado ao longo do tempo, ao contrário do *desktop*.

De um modo geral, os resultados corresponderam às expectativas, ou seja, o treino influencia o desempenho dos utilizadores.

---

---

---

## 5. Conclusões e trabalho futuro

Como evidenciado ao longo desta dissertação, a tecnologia quer ao nível do software, quer ao nível dos dispositivos de entrada e saída, está em constante evolução. Existe um maior recurso à Realidade Virtual nas mais variadas áreas, de salientar a medicina, militar e entretenimento. No entanto, para ser possível aplicar a Realidade Virtual a todas estas áreas é necessário o uso dos dispositivos correctos, pois na maior parte dos casos o uso dos dispositivos não será o mais indicado. Para isso, são efectuados estudos e testes de usabilidade, cujo objectivo é obter a maior eficiência possível dos dispositivos dependendo da tarefa.

O objectivo principal da dissertação foi estudar a influência no desempenho, conforto e sintomas dos utilizadores em ambientes virtual com algumas características bem definidas, que à partida pareciam relevantes. Para tal, foi necessário desenvolver uma plataforma de Realidade Virtual para que se pudessem realizar os testes. Essa plataforma seria fácil de configurar pelo que não seria necessário ter nenhuma experiência em termos de programação para a configurar.

Entre as conclusões mais importantes que se podem obter das experiências controladas efectuadas neste trabalho está a influência do aumento ou diminuição da velocidade a que o jogador se desloca no mundo virtual. A maior parte dos utilizadores decidiu aumentar a velocidade, o que levou a um pior desempenho contrariando o que seria de esperar. Na experiência com o Modelo 3D os resultados responderam às expectativas, o desempenho no *desktop* foi muito superior ao desempenho no HMD. Isso pode dever-se ao maior treino que os utilizadores têm no *desktop*, o que leva à realização da experiência de treino. Nessa experiência nota-se uma melhoria ao longo do tempo, quer no *desktop* quer no HMD, sendo que o desempenho no *desktop* foi sempre superior ao desempenho no

---

HMD. A partir da experiência das texturas pode-se concluir que a sua utilização influencia grandemente o uso do HMD, pois no caso da utilização do *desktop* não houve alterações no desempenho, enquanto no caso do HMD a diferença foi muito evidente.

De salientar as sugestões dos utilizadores para a utilização de um dispositivo HMD sem fios, pois o utilizado era muito incómodo e pesado. Todos os utilizadores têm contacto com o computador diariamente, mas no entanto nenhum tinha contacto com Realidade Virtual.

Para trabalho futuro pode-se explorar algumas características da plataforma que ainda não foram utilizadas, tais como a utilização do desacoplamento e do disparo. No caso de trabalho futuro ao nível da plataforma poder-se-ia implementar um sistema de multijogador, onde os utilizadores pudessem interagir entre si ou então permitir a utilização de um número maior de dispositivos de entrada, como por exemplo utilizar o *Wintracker* para controlar a mira.

---

## 6. Referências

- Bishop, G., W. Bricken, et al. (1992). "Research Directions in Virtual Environments, Computer graphics." ACM **26**: 153-177.
- Bowman, D. A., E. Kruijff, et al. (2006). User interfaces: theory and practice, Addison-Wesley.
- Bruck, S. and P. A. Watters (2009). Estimating Cybersickness of Simulated Motion Using the Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): A Controlled Study. Proceedings of the 2009 Sixth International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization, IEEE Computer Society: 486-488.
- Burdea, G. and P. Coiffet (1994). "Virtual Reality Technology." John Wiley & Sons.
- Cheah, T. C. S. and K.-W. Ng (2005). "A Practical Implementation of a 3-D Game Engine" Computer Graphics, Imaging and Vision: New Trends **5**.
- Chow, Y.-W., R. Pose, et al. (2005). The ARP Virtual Reality System in Addressing Security Threats and Disaster Scenarios. TENCON 2005 2005 IEEE Region 10, IEEE.
- Cruz-Neira, C., D. J. Sandin, et al. (1992). "The CAVE Audio Visual Experience Automatic Virtual Environment." Communication of the ACM **35**: 64-72.
- develop. (2011). "Full Tech Specs: PlayStation Move | Game development." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://www.develop-online.net/features/819/Full-Tech-Specs-Playstation-Move>.
- DevMaster. (2011). "Irrlicht - Engine Details." Retrieved 21/01/2011, 2011, from [http://www.devmaster.net/engines/engine\\_details.php?id=4](http://www.devmaster.net/engines/engine_details.php?id=4).
- DevMaster. (2011). "OGRE - Engine Details." Retrieved 21/01/2011, 2011, from [http://www.devmaster.net/engines/engine\\_details.php?id=2](http://www.devmaster.net/engines/engine_details.php?id=2).
- DevMaster. (2011). "Panda3D - Engine Details." Retrieved 21/01/2011, 2011, from [http://www.devmaster.net/engines/engine\\_details.php?id=95](http://www.devmaster.net/engines/engine_details.php?id=95).
- Dix, A., J. Finlay, et al. (2003). Human-computer interaction, Prentice Hall.
- gdgt. (2011). "Nintendo Wii Remote controller (Wiimote) specs." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://gdgt.com/nintendo/wii/remote-controller/specs/>.
- gl.tter. (2010). "- WiiYourself! - gl.tter's native C++ Wiimote library." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://wiiyourself.gl.tter.org/>.
- Google-SketchUp. (2011). "Google SketchUp 8." Retrieved 30/01/2011, 2011, from <http://sketchup.google.com/>.
- Gregory, J. and J. Lander (2009). Game Engine Architecture, A K Peters.

- 
- Hancock, D. (1995). "Viewpoint: Virtual Reality in Search of Middle Ground." IEEE Spectrum **68**(1): 68.
- hkaufmann. (2010). "Playstation Move On PC." Retrieved 22/01/2011, 2011, from <http://code.google.com/p/moveonpc/>.
- Irrlicht. (2009). "Irrlicht Engine - A free open source 3d engine." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://irrlicht.sourceforge.net/>.
- Kenner, C. (2010). "GlovePIE™ - Programmable Input Emulator." Retrieved 21/01/2011, 2011, from [http://glovepie.org/glovepie\\_download.php](http://glovepie.org/glovepie_download.php).
- Microsoft. (2011). "Microsoft Visual Studio." Retrieved 30/01/2011, 2011, from <http://www.microsoft.com/portugal/msdn/visualstudio08/default.mspx>.
- Miller, F. P., A. F. Vandome, et al. (2009). Game Engine: First-person Shooter Engine, List of Game Engines, List of First-person Shooter Engines, Computer Software, Video Game, Microsoft Windows, Linux, Mac OS X, Rendering (computer Graphics), Alphascript Publishing.
- Molich, R. and J. Nielsen (1990). "Heuristic evaluation of user interfaces." CHI '90 Proceedings **90**(1-5 April): 249-256.
- Morie, J. F. (1994). "Inspiring the Future: Merging Mass Communication, Art, Entertainment and Virtual environments." Computer Graphics **28**: 135-138.
- Nalbant, G. and B. Bostan (2006). "Interaction in virtual reality." Yeditepe University, Informatics Systems and Technologies Dept., Turkey.
- Newton, O. (2009). "Tutorial - Ogre and Newton with OgreNewt beginners guide - Newton Wiki." Retrieved 21/01/2011, 2011, from [http://www.newtondynamics.com/wiki/index.php5?title=Tutorial - Ogre and Newton with OgreNewt beginners guide](http://www.newtondynamics.com/wiki/index.php5?title=Tutorial_-_Ogre_and_Newton_with_OgreNewt_beginners_guide).
- OGRE. (2009). "Ogre 3D - Documentation." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://www.ogre3d.org/documentation>.
- OGRE. (2011). "Ogre Addons." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://www.ogre3d.org/addonforums/index.php?sid=bcba0f4501087e8a2e9956688cd609fd>.
- Oyama, H. and F. Wakao (1997). Evaluation of a virtual reality system for medicine. International Conference on Virtual Systems and MultiMedia, 1997. VSMM'97. Proceedings., IEEE.
- Panda3D. (2010). "Panda3D - Documentation." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://www.panda3d.org/documentation.php>.
- Panda3D. (2011). "Panda 3D." Retrieved 21/01/2011, 2011, from <http://www.panda3d.org/>.
- Santos, P. (2008). Usabilidade em sistemas de realidade virtual: estudos com utilizadores. DETI. Aveiro, Universidade de Aveiro: 118.
- Smith, S. P. and T. Marsh (2004). "Evaluating design guidelines for reducing user disorientation in a desktop virtual environment." Springer-Verlag London Limited: 55-62.
- Stefan Zerbst, O. D. (2004). "Three-D game engine programming." Game development series Premier Press game development series: 860.
- Technology, H. K. U. o. S. a. (2003). Post-exposure Simulator Sickness Questionnaire.
- Verity, J. W. (1985). "Graphically Speaking." **1**(20).
- Yatim, N. (2002). A Combination Measurement for Studying Disorientation. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'02)-Volume 5 - Volume 5, IEEE Computer Society: 138.
-

---

# I. Anexos

## a. Detalhes de alguns motores de jogo

### i. Ogre

Principais funções de produtividade:

- Uso simples, orientado a objectos, sendo concebido para minimizar o esforço necessário para renderizar cenas 3D e ser independente da implementação 3D, por exemplo Direct3D, OpenGL;

- Tem um *Framework* extensível, sendo simples e fácil executar aplicações;

Requisitos comuns como manipulação de estado e transparência são feitos automaticamente;

- Limpeza, design sóbrio e documentação completa de todas as classes;

- O design totalmente OO permite estender as funcionalidades do motor através de plug-ins e subclasses com muito pouco esforço.

#### **Plataforma e apoio API 3D:**

- Direct3D (suporta DirectX 7 e 9) e OpenGL;

- Windows (todas as versões principais), Linux e Mac OS X;

- Baseia-se no Visual C++ 6, Visual C++.NET, Visual C++.NET 2003 e Visual

---

C++ 2005 no Windows (STLport (link externo), necessário para o Visual C++ versões anteriores a 2003) [nota Visual C++ 6 / Visual C++ 7,0 obsoleto no Ogre 1.2.0];

- Baseia-se na gcc 3+ em Linux e Mac OS X e para o iPhone.

### **Material / suporte Shader:**

- Linguagem de programação forte mantém os materiais fora do código;
- Suporta *vertex shader* e outros programas (*shaders*), sendo os programas de baixo nível escritos em *assembly* e os de alto nível escritos em CG, DirectX 9.0 HLSL ou OpenGL GLSL. Provide suporte automático para parâmetros comuns como matrizes da cena ou estado da iluminação;
- Suporta toda a gama de operações de função fixa, como multi-textura, coordena a geração e modificação de texturas, suporta operações de cor e alpha independentes do hardware;
- Múltiplos efeitos, efectuando se necessário iterações para a n luzes mais próximas;
- Suporte para várias técnicas de material significa que é possível obter diversos efeitos e o OGRE selecciona automaticamente o melhor suporte;
- Suporta nível de detalhe dos materiais, sendo possível reduzir o detalhe quando os objectos se afastam da cena
- Carrega texturas de PNG, JPEG, TGA, BMP, PVRTC ou arquivos DDS, incluindo formatos incomuns como texturas 1D, texturas volumétricas, cubemaps, HDR (high dynamic range) e texturas comprimidas (DXT/S3TC);
- Suporte para texturas dinâmicas em todos os formatos suportados, para a reprodução eficiente de filmes e outros conteúdos em tempo real sobre uma textura.

### **Formatos suportados:**

- Tipos de ficheiro comuns:
  - .bsp ficheiro Quake bsp
  - .shader ficheiro Quake 3 shader
  - .ttf ficheiro True type font
  - .png, .tga, .jpg, .raw, .gif, .dds e mais suportados por FreeImage
  - .cg ficheiro Cg shader
  - .asm ficheiro Assembly shader
  - .zip recursos compactados
  - .xml ficheiro XML
  - .xsd ficheiro XML schema que define formatos especificados OGRE
  - .log usado para debug logs, memory logs e relatórios de falha de memória



---

- Tipos de ficheiro específicos do OGRE:

- Ficheiros de script

.material script de materiais

.compositor script de compositor

.particle script de partículas

.overlay script de overlay

.fontdef script de definição de fonts

- Outros

.skeleton ficheiro binário que contem animações de esqueleto

.mesh ficheiro binário que contem definições mesh simples

.scene ficheiro baseado em XML que contem múltiplas cenas

.cfg ficheiro de configuração com vários propósitos

.inc ficheiro de inclusão de templates

.scheme ficheiro XML baseado em GUI

.imageset ficheiro XML baseado em GUI

.layout ficheiro XML baseado em GUI

.font ficheiro XML baseado em GUI

### **Malhas:**

- Aceita formatos de malha flexíveis e separa o conceito de buffers de vértice, buffers índice, declarações de vértice e mapeamentos de buffer;

- Permite exportação de muitas ferramentas de modelação, incluindo MilkShape3D, 3D Studio Max, Maya, Blender e Wings3D;

- Animação de esqueleto, incluindo a mistura de várias animações e criação de pele no esqueleto;

- Superfícies curvas a partir de Biquadric Bezier;

- Malhas podem perder detalhe de acordo com o afastamento da cena;

- Criação de primitivas no estilo OpenGL.

### **Características da cena:**

- Altamente personalizável, gestão de cena flexível, não vinculado a qualquer tipo de cena. Uso de classes pré-definidas para organização da cena se adequar ou inclui subclasses para obter controlo total da cena. Enquanto outros motores estão limitados a um tipo de cena específica, OGRE permite renderizar qualquer tipo de cena;

- Plug-in baseado em BSP permite uma rápida e fácil renderização de interiores e carregamento de mapas do tipo Quake3;

- 
- Plug-in Octree permite geração de cenas baseadas em Octree;
  - Para a geração de terrenos existe o plug-in Terrain;
  - Grafo de cena hierárquico, nós permitem que objectos se relacionem entre si, permitindo o movimento de um conjunto de objectos movendo apenas o objecto pai;
  - Permite configurar caminhos *spline* entre objectos da cena, incluindo entidades e câmaras, que podem depois ser animados facilmente.

#### Efeitos especiais:

- Sistemas de partículas; Utilização automática de pool de partículas para máximo desempenho;
- Suporte para criação de céu (*skyplanes ou skydomes*) simples de usar;
- Objectos transparentes manipulados automaticamente;
- Permite construir menus e HUD (*Head up display*) usando objectos;
- Controlo de nevoeiro flexível;
- Permite efeitos de pós-processamento;
- Permite o uso de software de mapeamento DOT3;
- *Cube mapping*.

#### Características diversas:

- Recursos de infra-estrutura comuns para a manipulação de memória e carregamento de arquivos (ZIP, PK3);
- Arquitectura de plug-in flexível permite que o motor seja “aumentado” sem recompilação;
- Depurador do controle de memória para encontrar falhas;
- XMLConverter eficiente para converter formatos binários de tempo de execução para / de XML para intercâmbio ou edição;
- Inicialização do OGRE com recursos GPU personalizáveis;
- Permite adição de várias bibliotecas, como física que permite “amarrar” a geometria do mundo OGRE á física. Isto permite uma grande extensibilidade que não é usual em outros motores.

---

## ii. Irrlicht

### **Principais características:**

- Alta performance de processamento 3D em tempo real usando Direct3D e OpenGL;
- Independente da plataforma. Funciona em Windows, Linux, OSX, Solaris, e outros;
- Contém biblioteca com material extensível;
- Gestão de cena altamente personalizável;
- Sistema de animação de personagens com animação do esqueleto e metamorfose;
- Não está limitado a C++, também suporta outras linguagens;
- GUI 2D potente, personalizado e fácil de usar;
- Funções 2D como alpha blending, desenho de fonts;
- API bem documentada com bons exemplos e tutoriais;
- Escrita em C++ e totalmente orientada a objectos;
- Importa directamente vários tipos de ficheiros de malhas ou texturas;
- Rápida e fácil detecção de colisões;
- Matemática 3D rápida e optimizada;
- Rendering directo usando arquivos comprimidos;
- Integra um parser XML;
- Suporta UNICODE;
- Funciona em vários IDEs;
- Open-source e completamente grátis;

### **Efeitos especiais:**

- Superfícies de água animadas;
- Luzes dinâmicas;
- Sombras dinâmicas;
- Objectos transparentes;
- Sistema de partículas personalizável: nevoeiro, neve, fumo, etc.
- Animação de texturas;
- Skyboxes e skydomes;
- Bump mapping;
- Billboards;
- Sphere mapping;
- Parallax mapping.

---

### ***Drivers:***

- Suporta 6 APIs diferentes o que normalmente não acontece com os outros motores;
- Direct3D 8.1
- Direct3D 9.0
- OpenGL 1.2-3.x
- O renderer do próprio motor;
- The Burningsvideo Software Renderer
- A null device

O programador não tem de saber qual API escolher, o motor faz a escolha automaticamente, garantindo:

- Maior performance: algumas placas gráficas estão optimizadas para OpenGL, outras são mais rápidas em Direct3D;
- Independência de plataforma: Direct3D não estará disponível num Mac ou Linux enquanto o OpenGL poderá estar. O processador de software Irrlicht Engine estará disponível em todos os SO, o que garante que funcionará sempre.
- Problemas de *drivers*: existem milhares de configurações de hardware, e na presença de *drivers* antigos que não funcionem permite a sua troca.

### **Shaders e materiais:**

Contém vários materiais no motor;

É possível adicionar novos materiais sem recompilar o motor;

Suporta os seguintes shaders:

- Pixel e vertex shaders;
- HLSL;
- GLSL;
- Programas Vertex;

### **Plataformas:**

- Multi-plataforma: OSX, Linux, Windows;

### **Animação de personagem:**

- Animação de esqueleto;
- Animação de um alvo;

### **Formatos suportados:**

Ficheiros de texturas:

- 
- JPEG File Interchange Format (.jpg., r / w)
  - Portable Network Graphics (.png, r/w)
  - Truevision Targa (.tga, r/w)
  - Windows Bitmap (.bmp, r/w)
  - Zsoft Paintbrush (.pcx, r/w)
  - Portable Pixmap (.ppm, r/w)
  - Adobe Photoshop (.psd, r)
  - Quake 2 textures (.wal, r)
  - SGI truecolor textures (.rgb, r)

Ficheiros de malhas animadas:

- B3D files (.b3d, r, skeleton)
- Microsoft DirectX (.x, r) (binary & text, skeleton)
- Milkshape (.ms3d, r, skeleton)
- Quake 3 models (.md3, r, morph)
- Quake 2 models (.md2, r, morph)
- Ficheiros de malhas estáticas:
- Irrlicht scenes (.irr, r/w)
- Irrlicht static meshes (.irrmesh, r/w)
- 3D Studio meshes (.3ds, r)
- Alias Wavefront Maya (.obj, r/w)
- Lightwave Objects (.lwo, r)
- COLLADA 1.4 (.xml, .dae, r/w)
- OGRE meshes (.mesh, r)
- My3DTools 3 (.my3D, r)
- Pulsar LMTools (.lmts, r)
- Quake 3 levels (.bsp, r)
- DeleD (.dmf, r)
- FSRad oct (.oct, r)
- Cartography shop 4 (.csm, r)
- STL 3D files (.stl, r/w)
- PLY 3D files (.ply, r/w)

### **Recursos de renderização suportados:**

Suporta todas as características importantes para um rendering de alta qualidade de materiais e efeitos;

- Materiais pré-definidos suportados:
- Sólido;

- 
- Sólido com mistura de texturas;
  - Mapas de luz com suporte a luz dinâmica;
  - Mapa de detalhe;
  - Reflexão ambiente;
  - Transparência, adicionando a textura;
  - Transparência, usando o alfa de textura;
  - Transparência, usando o alfa de textura, sem mistura;
  - Transparência, usando o alfa vértice;
  - Mapas normais;
  - Mapas Parallax;
  - Outras características do render:
  - Materiais de cor;
  - Shininess;
  - Espessura;
  - ZBuffer;
  - Configurações anti-aliasing por malha;
  - Mascaramento de cor;
  - *Wireframe* – renderização em nuvem de pontos;
  - Gouraud – sombreamento plano;
  - Iluminação configurável;
  - Backface / Frontface;
  - Nevoeiro permitido por malha;
  - Normalização de normais automática;
  - Filtragem de texturas (bilinear, trilinear, anisotropic);
  - Matrizes de texturas;
  - Multi-texturas;
  - Texturas com nível de detalhe;

### iii. Tabela comparativa entre Ogre e Irrlicht

	OGRE	Irrlicht
Geral	-Arquitetura OO -Arquitetura com plug-ins flexível -Documentação completa -Suporta arquivos ZIP/PK3	-Arquitetura OO -Suporta plug-ins -Integra XML parser -Suporta arquivos ZIP -Suporta arquitetura de 64 bits -Suporte para joystick -Boa documentação
Física	-Detecção de colisões -Física básica (plug-ins)	-Detecção de colisões
Iluminação	-Per-vertex -Per-pixel -Número ilimitado de fontes de luz	-Per-vertex -Per-pixel -Suporta iluminação dinâmica
Sombras	- Shadow Mapping, Shadow Volume -Técnicas suportadas: modulative stencil, additive stencil, modulative projective -As sombras desaparecem a grandes distâncias	-Sombras dinâmicas com stencil buffer
Texturas	-Basic, Multi-texturing, Bumpmapping, Mipmapping, Volumetric, Projected -Suporta vários arquivos de imagem	- Basic, Multi-texturing, Bumpmapping, Mipmapping - Texturas animadas -Suporta vários arquivos de imagem
Shaders	-Vertex, Pixel, High Level -Suporta GLSL (OpenGL Shading Language)	-Vertex, Pixel, High Level -Suporta GLSL (OpenGL Shading Language)
<i>Controlo de cena</i>	-General, BSP, Octrees, Occlusion Culling, LOD	-General, BSP, Octrees, LOD
<i>Meshes</i>	-Mesh Loading, Skinning, Progressive	-Mesh Loading
<i>Rendering</i>	-Fixed-function, Render-to-Texture, Fonts, GUI	-Fixed-function, Render-to-Texture, Fonts, GUI

Tabela 27: Comparação detalhada entre Ogre e Irrlicht

---

## b. Ficheiro de configuração GlovePie para utilização de outros dispositivos de entrada

### i. Wiimote

```
// Wii 1
```

```
debug = " X=" + Wiimote.rawForceX + ' Y=' + Wiimote.rawForceY+ ' Z=' +  
Wiimote.RawForceZ
```

```
LeftShift + P + I + E = Wiimote.Home
```

```
W = Wiimote.Up
```

```
S = Wiimote.Down
```

```
A = Wiimote.Left
```

```
D = Wiimote.Right
```

```
LeftShift + P + I + E = Wiimote.A
```



---

## ii. Gamepad

Key.LeftShift + P + I + E = Joystick1.button9      // STOP

W = Joystick1.Button1

S = Joystick1.Button3

A = Joystick1.Button4

D = Joystick1.Button2

Mouse.y = Joystick1.Pov1y + Mouse.y

---

## c. Interface de utilizador – Modo utilização

### Modo de utilização

De seguida é dada uma breve explicação de como configurar a aplicação. Os valores por omissão configuram uma aplicação em que o objectivo é apanhar todas as caixas no mapa designado.

#### **Nome Log**

É o nome que os ficheiros de log irão ter, com o sufixo `_log` e `_pos` respectivamente. O primeiro contém informação estatística acerca do jogo e o segundo contém uma lista da posição do jogador durante o jogo.

#### **Nome objectos**

Refere-se à malha mesh dos objectos a utilizar. Com a aplicação já são fornecidos alguns objectos que se encontram na pasta `models`. Para criar um novo objecto pode utilizar o software Google SketchUp com o plugin de exportação para `.mesh`.

#### **Nome mapa**

Tal como o nome objectos refere-se à malha do mapa a utilizar. Existem alguns mapas disponíveis na pasta `models` e também se pode criar um novo mapa utilizando o Google SketchUp com o plugin de exportação para `.mesh`.

#### **Tempo máximo**

Refere-se ao tempo máximo de jogo em segundos. Por omissão este valor é de 250 segundos.

#### **Máximo de colisões**

Refere-se ao número máximo de colisões que o jogador possa ter com as paredes do mapa, e dependendo do resto da configuração da aplicação, também com os objectos.

#### **Com objectos**

Refere-se ao nome do ficheiro com coordenadas dos objectos. Se ainda não tiver esse ficheiro seleccione inserir novos objectos.

#### **Inserir novos objectos**

Refere-se ao nome do ficheiro em que se vai guardar coordenadas dos objectos. Para tal, posicione o jogador na posição onde pretende o objecto e pressione a tecla G. Pode inserir vários objectos.

#### **Disparo**

Se pretender disparar nos objectos em vez de os apanhar através da colisão com estes, seleccione esta opção.

---

**Mira**

Tal como o nome indica é desenhada uma mira no centro do ecrã.

**Desacoplamento**

Desacoplamento é a possibilidade de ao movimentar-se poder olhar em redor sem alterar a direcção do movimento. Seleccione esta opção se desejar desacoplamento.

**Avançadas**

Aqui são configurados os ganhos de movimento e rotação, isto é a velocidade de movimento e de rotação.

**Wiimote**

Para utilizar o wiimote é necessário ter o GlovePie instalado ou utilizar o que esta na pasta da aplicação OGREMaze. Ao clicar no botão abre uma caixa onde tem uma breve explicação de como utilizar.

**Gamepad**

Tal como o wiimote o seu uso requer o GlovePie. Ao clicar no botão o procedimento é o mesmo.

**HMD**

Para utilizar o HMD poderá ser necessário instalar os respectivos drivers. Se desejar que a aplicação inicie mais rapidamente corra o IServer antes de iniciar a aplicação.

**Default**

Repõe os valores iniciais de todos os campos

**Gravar**

Grava a configuração

**Gravar e executar**

Grava a configuração e executa o programa

**Sair**

Sai do interface de configuração

---

## d. Detalhes das experiências

### i. Experiencia 1

#### Questionário

---

#### AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DE AMBIENTE VIRTUAL

Utilizador Nº \_\_\_\_\_

---

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a sua participação na realização desta experiência científica. Ao mesmo tempo, esperamos conseguir promover um momento agradável.

---

#### QUESTÕES GERAIS

Sexo: ( ) Feminino ( ) Masculino

Idade: ( ) até 15 ( ) 16-30 ( ) 31 ou +

Profissão: \_\_\_\_\_

	Nada	às vezes	Muito
Utiliza o computador:	( )	( )	( )
Utiliza o computador para jogar:	( )	( )	( )
Utiliza imagens tridimensionais:	( )	( )	( )

Qual o tipo de Jogo Preferido:

- |   |   |  |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> Estratégia ( ) | <input type="checkbox"/> Shootem'Up ( ) | <input type="checkbox"/> Plataformas ( ) |
| <input type="checkbox"/> Corridas ( )   | <input type="checkbox"/> Simulação ( )  | <input type="checkbox"/> Desporto ( )    |
| <input type="checkbox"/> Aventura ( )   | <input type="checkbox"/> Acção ( )      | outro: _____                             |

---

Quantas Horas Joga por dia:

☐ 0-1 Horas ( )      3-6 Horas ( )

☐ 1-3 Horas ( )      ☐ +6 Horas ( )

Plataforma Habitual:

Dispositivo Interação:

☐ PC ( )

Teclado

☐ Outro - \_\_\_\_\_

☐ Consola - Qual? \_\_\_\_\_

☐ Rato ( )

☐ Consola Portátil - Qual? \_\_\_\_\_

☐ Gamepad ( )

☐ Outro - \_\_\_\_\_

---

	Nada	um pouco	Muito
Sentiu-se tonto durante o jogo?	( )	( )	( )
Sentiu-se desorientado durante o jogo?	( )	( )	( )
Teve enjoo?	( )	( )	( )
Foi difícil apanhar os objectos?	( )	( )	( )
Foi difícil percorrer os corredores?	( )	( )	( )
Foi difícil entrar nas entradas	( )	( )	( )
Foi difícil ver os objectos?	( )	( )	( )
Gostou de jogar?	( )	( )	( )

Voltava a alterar o valor da velocidade ?

Sim ( )      Não ( )

Se respondeu que sim na questão anterior, aumentava ou diminuía o valor ?

Aumentava ( )      Diminuía ( )

Tem experiência com RV?

Sim ( )      Não ( )

Se sim há quanto tempo?

---

### **OUTRAS QUESTÕES**

---

O que achou dos óculos?

---

Se pudesse escolher outro dispositivo para navegar no ambiente qual escolheria?

---

Sugestões:

---

---

---

### Perfis de utilizador

Utilizador	Sexo	Idade	Profissão	Utiliza muito o computador	Utiliza o computador para jogar	Utiliza imagens tridimensionais	Tem experiência com RV
1	Masculino	2	Estudante	3	3	1	Não
2	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não
3	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não
4	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não
5	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não
6	Feminino	2	Estudante	3	2	2	Não
7	Masculino	2	Estudante	3	1	1	Não
8	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Sim
9	Masculino	2	Trabalhador Estudante	3	2	1	Não
10	Masculino	2	Estudante	3	3	2	Não
11	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não
12	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não
13	Masculino	2	Estudante	3	3	1	Não
14	Feminino	2	Estudante	3	1	1	Não
15	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não
16	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não

Tabela 28 - Perfil dos Utilizadores na Experiência 1; idade: 1-> até 15, 2-> 16-30, 3-> +31; 1-> Pouco, 3-> Muito

### Resultados quanto à satisfação

Utilizador	Sintomas		Dificuldades					Gostou de jogar	Voltava a modificar o valor da velocidade	Aumentava ou diminuía
	Tonturas	Enjoo	Desorientado	Apanhar objecto	Percorrer corredores	Entrar nas entradas	Ver objectos			
1	1	1	3	2	2	2	1	3	Não	Diminuía
2	1	2	3	2	1	2	2	3	Não	
3	1	1	1	2	2	1	2	3	Não	
4	3	2	2	2	2	2	1	2	Sim	
5	3	2	3	2	3	2	1	2	Não	
6	1	1	1	2	2	2	1	2	Não	Aumentava
7	1	1	2	2	2	2	2	2	Sim	
8	1	1	2	2	1	1	1	3	Não	
9	2	1	2	2	2	2	1	2	Não	
10	1	1	2	2	3	3	2	2	Não	
11	2	1	2	2	1	2	1	3	Não	Diminuía
12	1	1	2	2	2	2	1	2	Sim	
13	1	1	1	2	2	1	1	3	Não	
14	1	1	1	2	2	1	1	3	Não	
15	1	1	1	1	2	2	2	3	Não	
16	1	1	2	2	2	1	1	3	Não	

Tabela 29: Resultados quanto à satisfação e sintomas na Experiência 1; 1-> Pouco, 3-> Muito



---

### Resultados quanto à performance

Utilizador		Número Objectos	Número colisões	Velocidade	Distância percorrida	Ganho
1	23007	14	18	6,77	562	1,2
2	27748	12	44	8,46	643	1,7
3	37051	17	39	9,64	800	1,5
4	23367	13	63	8,73	725	2,4
5	34227	17	35	8,5	705	1,4
6	29148	12	18	5,56	461	2
7	35286	19	39	9,28	770	2,1
8	28075	16	62	8,96	743	2,7
9	32649	12	16	3,99	331	1
10	36045	9	48	8,21	582	3,5
11	27596	17	69	10,8	896	2,7
12	41465	19	96	11,48	953	2,7
13	42706	13	39	10,49	871	3
14	42913	14	67	12,19	1012	2,1
15	41816	17	109	12,07	1001	3,6
16	77777	19	68	10,08	836	1.8
17	88888	21	9	7,4	592	1
18	99999	18	32	9,22	765	1
Média		15,5	48,38888889	8,990555556	736	2,09411765
Mediana		16,5	41,5	9,09	754	2,1

Tabela 30: Resultados quanto à performance na Experiência 1

---

## ii. Experiência 2

### Questionário

### **AValiação de Usabilidade**

Utilizador N<sup>o</sup>: \_\_\_\_\_

#### Questões gerais

---

Sexo:    ( ) Feminino                      ( ) Masculino

Idade:    ( ) até 15                      ( ) 16-30                      ( ) 31 ou +

Profissão: \_\_\_\_\_

---

	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frequentemente
Utiliza o computador:	( )	( )	( )	( )
Utiliza o computador para jogar:	( )	( )	( )	( )
Utiliza imagens tridimensionais:	( )	( )	( )	( )

---

#### Manipulação dentro do modelo ( Sendo 1- discordo totalmente e 5 concordo totalmente

---

	HMD	Rato
Sentiu-se confortável?	( )	( )
Sentiu-se desorientado?	( )	( )
Teve enjoo?	( )	( )
Teve tonturas?	( )	( )
Foi difícil seleccionar as células?	( )	( )
Foi difícil rodar o modelo?	( )	( )

---

---

---

Gostou da manipulação?

( )

( )

---

---

---

Questões finais

---

HMD  
wiimote

Rato

Qual a preferida?

( )

( )

Mais natural?

( )

( )

Mais rápido?

( )

( )

Mais confortável?

( )

( )

---

O que achou do HMD?

---

---

Acha que o HMD (sensor *Intersense*) é um bom suporte para manipular objectos em 3D ?

---

---

Outras questões:

---

---

## Perfis de utilizador

Utilizador	Sexo	Idade	Profissão	Utiliza muito o computador	Utiliza o computador para jogar	Utiliza imagens tridimensionais	Primeiro dispositivo
1	Masculino	2	Estudante	4	4	4	HMD
2	Masculino	2	Estudante	4	4	4	<i>Desktop</i>
3	Masculino	2	Estudante	4	3	4	HMD
4	Masculino	2	Estudante	4	4	4	<i>Desktop</i>
5	Masculino	2	Estudante	4	3	1	HMD
6	Feminino	2	Estudante	4	3	3	<i>Desktop</i>
7	Feminino	2	Estudante	4	3	2	HMD
8	Masculino	2	Estudante	4	4	3	<i>Desktop</i>
9	Masculino	2	Estudante	4	4	2	HMD
10	Masculino	1	Estudante	4	4	4	<i>Desktop</i>
11	Feminino	2	Estudante	4	3	2	HMD
12	Masculino	1	Estudante	4	4	2	<i>Desktop</i>
13	Feminino	2	Estudante	4	3	3	HMD
14	Masculino	1	Estudante	4	4	3	<i>Desktop</i>
15	Feminino	1	Estudante	4	2	1	HMD

Tabela 31 - Perfil dos Utilizadores na Experiência 2; idade: 1-> até 15, 2-> 16-30, 3-> +31; 1-> discordo totalmente, 5-> concordo totalmente

## Resultados quanto à satisfação

						Dificuldade		
	Utilizador	Confortável	Desorientado	Enjoo	Tonturas	Seleccionar células	Rodar o modelo	Gostou da manipulação
HMD	1	4	1	1	1	1	1	5
	2	5	1	1	1	1	1	5
	3	5	1	1	1	1	1	5
	4	4	1	1	1	1	1	5
	5	2	4	1	1	5	2	2
	6	5	5	3	1	1	3	5
	7	4	4	1	1	3	4	5
	8	3	2	1	1	4	2	4
	9	5	1	1	1	5	1	4
	10	4	1	1	1	1	1	5
	11	3	3	1	1	2	3	4
	12	5	1	1	1	4	1	5
	13	3	3	1	1	3	3	5
	14	4	1	1	1	4	2	4
	15	4	3	1	1	5	2	5
Rato	Utilizador	Confortável	Desorientado	Enjoo	Tonturas	Seleccionar células	Rodar o modelo	Gostou da manipulação
	1	3	1	1	1	1	3	3
	2	5	1	1	1	1	1	5
	3	5	1	1	1	1	3	3
	4	5	1	1	1	1	2	3
	5	5	1	1	1	1	2	5
	6	5	1	1	1	5	1	5
	7	4	5	1	1	4	5	5
	8	3	1	1	1	1	4	4
	9	5	1	1	1	5	1	4
	10	5	1	1	1	1	1	5
	11	5	3	1	1	1	4	4
	12	5	1	1	1	1	2	2
	13	5	1	1	1	1	1	5
	14	4	1	1	1	3	4	3
	15	5	1	1	1	1	1	5

Tabela 32: Resultados quanto à satisfação na Experiência 2; 1-> Pouco, 5-> Muito

---

Utilizador	Preferida	Mais natural	Mais rápida	Mais confortável
1	HMD	HMD	Rato	HMD
2	HMD	Rato	Rato	Rato
3	HMD	HMD	HMD	HMD
4	HMD	HMD	HMD	HMD
5	Rato	HMD	Rato	Rato
6	HMD	Rato	Rato	HMD
7	HMD	HMD	HMD	Rato
8	HMD	HMD	Rato	Rato
9	HMD	HMD	Rato	Rato
10	Rato	HMD	Rato	Rato
11	HMD	HMD	Rato	Rato
12	HMD	Rato	Rato	Rato
13	Rato	Rato	Rato	Rato
14	HMD	HMD	Rato	HMD
15	HMD	Rato	Rato	Rato

Tabela 33: Resultados quanto à satisfação na Experiência 2

---

### Resultados quanto à performance

	HMD			Rato/teclado		
Utilizador	Tempo	Movimentos	Seleção material	Tempo	Movimentos	Seleção material
1	106	1036	9	46		5
2	97	948	77	55		8
3	107	1047	62	36		6
4	99	970	65	47		7
5	170	1626	226	26		6
6	205	2031	70	82		5
7	129	1266	26	58		6
8	88	863	46	37		6
9	103	1015	42	22		7
10	137	1360	60	22		6
11	153	1508	160	35		5
12	93	909	32	65		5
13	232	2306	160	36		8
14	178	1698	444	58		7
15	141	1394	73	24		7
Média	135,8	1331,8	103,4	43,3		6,3

Tabela 34: Resultados quanto à performance na Experiência 2

---

### iii. Experiência 3

#### Questionário

---

#### AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DE AMBIENTE VIRTUAL

Utilizador Nº \_\_\_\_\_

---

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a sua participação na realização desta experiência científica. Ao mesmo tempo, esperamos conseguir promover um momento agradável.

---

#### QUESTÕES GERAIS

Sexo: ( ) Feminino ( ) Masculino

Idade: ( ) até 15 ( ) 16-30 ( ) 31 ou +

Profissão: \_\_\_\_\_

	Nada	às vezes	Muito
Utiliza o computador:	( ) ( )	( )	
Utiliza o computador para jogar:	( )	( )	( )
Utiliza imagens tridimensionais:	( )	( )	( )

Qual o tipo de Jogo Preferido:

☐ Estratégia ( ) ☐ Shootem'Up ( ) ☐ Plataformas ( )  
☐ Corridas ( ) ☐ Simulação ( ) ☐ Desporto ( )  
☐ Aventura ( ) ☐ Acção ( ) outro: \_\_\_\_\_

Quantas Horas Joga por dia:

☐ 0-1 Horas ( ) ☐ 3-6 Horas ( )

---

---



---

☐ 1-3 Horas ( )      ☐ +6 Horas ( )

Plataforma Habitual:

☐ PC ( )

☐ Consola - Qual? \_\_\_\_\_

☐ ConsolaPortátil - Qual? \_\_\_\_\_

☐ Outro - \_\_\_\_\_

Dispositivo Interacção:

Teclado ( )    Outro - \_\_\_\_\_

☐ Rato ( )

*Gamepad*( )

---

	Textura única	Várias texturas
Foi difícil apanhar os objectos?	( )	( )
Foi difícil percorrer os corredores?	( )	( )
Foi difícil entrar nas entradas?	( )	( )
Sentiu-se tonto durante o jogo?	( )	( )
Sentiu desconforto?	( )	( )
Teve enjoo?	( )	( )
Teve dor de cabeça?	( )	( )
Teve sonolência?	( )	( )
Teve a visão desfocada?	( )	( )
Teve dificuldade em focar?	( )	( )
Sentiu-se fatigado?	( )	( )

---

---

---

	( )	( )
Teve dificuldade em concentrar-se?		
Foi difícil entrar nas entradas?	( )	( )
Sentiu-se desorientado durante o jogo?	( )	( )
Sentiu que se movimentava em círculos?	( )	( )
Tinha noção do sítio onde se encontrava?	( )	( )
Sabia onde se dirigir a seguir?	( )	( )
Sabia onde se dirigir de modo a apanhar os objectos que faltavam?	( )	( )
Gostou de jogar?	( )	( )

---

( Sendo 1- Nada, 2 – Às vezes e 3 - Muito )

### **OUTRAS QUESTÕES**

Tem experiência com RV?

Sim ( ) Não ( )

Sugestões:

---

---

---

### Perfis de utilizador

Utilizador	Sexo	Idade	Profissão	Utiliza muito o computador	Utiliza o computador para jogar	Utiliza imagens tridimensionais	Tem experiência com RV	
1	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não	
2	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não	
3	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não	
4	Masculino	2	Estudante	3	3	1	Não	
5	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não	
6	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não	
7	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não	
8	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não	
9	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não	
10	Feminino	2	Estudante	3	3	1	Não	
11	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não	
12	Masculino	2	Estudante	3	3	1	Não	
13	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não	
14	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não	
Pouco				0	0	6	14	Não
Normal				0	7	4	0	Sim
Muito				14	7	4		

Tabela 35: Perfis de utilizador na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

### Resultados quanto à satisfação

	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura
Utilizador	Foi difícil apanhar os objectos		Foi difícil percorrer os corredores		Foi difícil entrar nas entradas		Sentiu-se tonto durante o jogo		Sentiu desconforto		Teve enjoo	
1	1	1	3	1	2	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	3	1	2	1	2	1	1	1	1	1
3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
4	3	2	3	2	3	2	1	1	2	2	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	3	3	3	2	2	2	1	1	3	3	1	1
7	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1
8	2	3	2	3	2	3	3	3	3	3	2	2
9	3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1
11	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	2	1	2	1	1	1	1	1	3	3	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
14	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1
Pouco	6	9	5	9	6	10	10	12	7	7	13	13
Normal	5	3	5	4	7	3	3	1	4	4	1	1
Muito	3	2	4	1	1	1	1	1	3	3	0	0

Tabela 36: Resultados quanto à satisfação na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura
Utilizador	Teve dor de cabeça		Teve sonolência		Teve visão desfocada		Teve dificuldade em focar		Sentiu-se fatigado		Teve dificuldade em concentrar-se	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1
3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
6	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2
7	1	1	1	1	2	2	3	3	1	1	2	1
8	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	1	2
11	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2
12	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pouco	12	13	13	13	7	8	7	7	10	10	5	8
Normal	1	0	1	1	7	6	5	4	3	3	8	5
Muito	1	1	0	0	0	0	2	3	1	1	1	1

Tabela 37: Resultados quanto à satisfação na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura	Sem textura	Com textura
Utilizador	Sentiu-se desorientado durante o jogo		Sentiu que se movimentava em círculos		Tinha noção do sítio onde se encontrava		Sabia onde se dirigir a seguir		Sabia onde se dirigir de modo a apanhar os objectos que faltavam		Gostou de jogar	
1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3
2	3	1	3	2	2	2	2	2	1	2	3	3
3	3	2	3	2	2	1	2	2	2	2	3	3
4	3	2	2	3	2	3	1	2	1	2	3	3
5	2	2	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
6	3	3	3	3	1	2	1	2	1	2	2	3
7	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	3	3
8	3	3	3	3	1	1	1	2	1	1	3	3
9	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	3	3
10	3	3	2	3	1	1	2	2	1	1	3	3
11	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3
12	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
13	3	2	3	2	1	2	1	2	1	1	2	2
14	3	3	3	3	1	1	2	2	1	2	2	2
Pouco	1	3	2	3	7	4	5	1	9	4	0	0
Normal	3	6	5	5	7	9	9	13	5	9	4	3
Muito	10	5	7	6	0	1	0	0	0	1	10	11

Tabela 38: Resultados quanto à satisfação na Experiência 3; 1-> Pouco, 3-> Muito

## Resultados quanto à performance

	Sem texturas							
	<i>Desktop</i>				HMD			
	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
1	21	168	409	5,76	18	164	338	4,07
2	21	136	404	6,03	19	211	361	4,34
3	20	159	494	5,95	18	193	362	4,36
4	19	151	426	5,13	15	135	289	3,48
5	20	166	473	5,7	19	200	357	4,3
6	21	87	277	5,65	17	169	309	3,72
7	20	152	452	5,45	18	164	367	4,42
8	21	142	428	5,87	13	185	356	4,29
9	21	108	348	5,44	12	156	262	3,79
10	18	163	392	4,72	13	223	340	4,1
11	20	148	432	5,2	19	185	341	4,11
12	21	101	337	5,26	17	77	271	3,27
13	17	138	395	5,73	12	112	265	3,84
14	21	144	332	5,26	13	124	241	3,49
Média	20,1	140,2	399,9	5,5	15,9	164,1	318,5	3,9
Mediana	20,5	146	406,5	5,55	17	166,5	339	4,085

Tabela 39: Resultados quanto à performance na Experiência 3 – sem texturas

---

	Com texturas							
	Desktop				HMD			
	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
1	20	167	470	5,66	19	184	344	4,14
2	20	191	504	6,07	16	214	418	5,03
3	20	174	488	5,88	13	195	365	4,4
4	21	120	284	5,27	18	116	298	3,59
5	20	162	465	5,6	19	191	391	4,71
6	21	113	383	5,8	20	144	350	4,22
7	21	112	350	5,75	17	129	339	4,08
8	21	122	333	5,84				
9	21	143	366	5,38	19	146	273	3,96
10	17	156	408	4,91	13	193	347	4,18
11	20	154	461	5,55	18	146	375	4,51
12	19	151	455	5,49	19	87	274	3,3
13	21	100	285	5,7	20	120	299	4,34
14	19	152	357	5,17	20	101	281	4,07
Média	20,1	144,1	400,6	5,6	17,8	151,2	334,9	4,2
Mediana	20	151,5	395,5	5,63	19	146	344	4,18

Tabela 40: Resultados quanto à performance na Experiência 3 – com texturas



---

#### iv. Experiência 4

##### Questionário

---

#### AVALIAÇÃO DE USABILIDADE DE AMBIENTE VIRTUAL

Utilizador Nº \_\_\_\_\_

---

Em primeiro lugar, gostaríamos de agradecer a sua participação na realização desta experiência científica. Ao mesmo tempo, esperamos conseguir promover um momento agradável.

---

QUESTÕES GERAIS (por favor assinale com um X a resposta mais adequada)

Sexo: ( ) Feminino ( ) Masculino

Idade: ( ) até 15 ( ) 16-30 ( ) 31 ou +

	Nada	às vezes	Muito
Utiliza o computador:	( )	( )	( )
Utiliza o computador para jogar:	( )	( )	( )
Utiliza imagens tridimensionais:	( )	( )	( )

Qual o tipo de Jogo Preferido:

Estratégia ( ) Shootem'Up ( ) Plataformas ( ) Corridas ( )

---

Simulação ( ) Desporto ( ) Aventura ( ) ☐ Acção ( ) outro: \_\_\_\_\_

---

Quantas Horas Joga por dia:

0-1 Horas ( ) 1-3 Horas ( ) 3-6 Horas ( ) ☐ +6 Horas ( )

☐

Plataforma Habitual:

Dispositivo Interacção:

---

---

PC ( ) ☐ Teclado ( ) ☐ Outro - \_\_\_\_\_  
Consola - Qual? \_\_\_\_\_ ☐ Rato ( )  
☐ Consola Portátil - Qual? \_\_\_\_\_ ☐ *Gamepad* ( ) Outro - \_\_\_\_\_

---

Tem experiência com RV?

Sim ( ) Não ( )

Sugestões:

---

---

**Utilizador N°** \_\_\_\_\_

**Data**

QUESTÕES QUANTO À EXPERIÊNCIA (por favor responda usando a escala:

1- Nada, 2 – Às vezes e 3 - Muito )

---

Foi difícil apanhar os objectos? ( )

Foi difícil percorrer os corredores? ( )

Foi difícil entrar nas entradas? ( )

Sentiu-se tonto durante o jogo? ( )

Sentiu desconforto? ( )

Teve enjoo? ( )

Teve dor de cabeça? ( )

Teve sonolência? ( )

Teve a visão desfocada? ( )

---

---

Teve dificuldade em focar? ( )

Sentiu-se fatigado? ( )

Teve dificuldade em concentrar-se?

Foi difícil entrar nas entradas? ( )

Sentiu-se desorientado durante o jogo? ( )

Sentiu que se movimentava em  
círculos? ( )

Tinha noção do sítio onde se  
encontrava? ( )

Sabia onde se dirigir a seguir? ( )

Sabia onde se dirigir de modo a  
apanhar os objectos que faltavam? ( )

Gostou de jogar? ( )

---

### Perfis de utilizador

		Utilizador	Sexo	Idade	Profissão	Utiliza muito o computador	Utiliza o computador para jogar	Utiliza imagens tridimensionais	Tem experiência com RV
		1	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não
		2	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não
		3	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não
		4	Masculino	2	Estudante	3	3	1	Não
		5	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não
		6	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não
		7	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não
		8	Masculino	2	Estudante	3	3	3	Não
		9	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não
		10	Masculino	2	Estudante	3	2	2	Não
		11	Feminino	2	Estudante	3	3	1	Não
		12	Masculino	2	Estudante	3	2	1	Não
Masculino	Não	Pouco	11			0	0	4	12
Feminino	Sim	Normal	1	24		0	6	4	0
		Muito				12	6	4	

Tabela 41: Perfis de utilizador na Experiência 4; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

### Resultados quanto à satisfação

Utilizador	Foi difícil apanhar os objectos	Foi difícil percorrer os corredores	Foi difícil entrar nas entradas	Sentiu-se tonto durante o jogo	Sentiu desconforto	Teve enjoo
1	1	3	2	1	1	1
2	2	3	2	2	1	1
3	2	2	2	1	1	1
4	3	3	3	1	2	1
5	1	1	1	1	1	1
6	3	3	2	1	3	1
7	1	1	1	2	1	1
8	2	2	2	3	3	2
9	3	2	2	1	1	1
10	2	2	2	1	1	1
11	1	1	2	1	2	1
12	2	2	1	1	1	1
Pouco	4	3	3	9	8	11
Normal	5	5	8	2	2	1
Muito	3	4	1	1	2	0

Tabela 42: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 1; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Teve dor de cabeça	Teve sonolência	Teve visão desfocada	Teve dificuldade em focar	Sentiu-se fatigado	Teve dificuldade em concentrar-se
1	1	1	1	1	1	2
2	2	1	2	2	1	2
3	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	1	1	2
5	1	1	1	1	1	2
6	1	1	2	2	2	2
7	1	1	2	3	1	2
8	3	2	2	3	3	3
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	2	2	2	2
11	1	1	1	2	2	1
12	1	1	2	1	1	2
Pouco	10	11	5	5	7	2
Normal	1	1	7	5	4	9
Muito	1	0	0	2	1	1

Tabela 43: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 1; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Sentiu-se desorientado durante o jogo	Sentiu que se movimentava em círculos	Tinha noção do sítio onde se encontrava	Sabia onde se dirigir a seguir	Sabia onde se dirigir de modo a apanhar os objectos que faltavam	Gostou de jogar
1	3	3	2	2	2	3
2	3	3	2	2	1	3
3	3	3	2	2	2	3
4	3	2	2	1	1	3
5	2	1	1	2	2	3
6	3	3	1	1	1	2
7	2	2	2	2	2	3
8	3	3	1	1	1	3
9	2	2	1	2	1	3
10	3	2	2	2	1	3
11	3	2	1	2	1	3
12	3	2	2	1	1	3
Pouco	0	1	5	4	8	0
Normal	3	6	7	8	4	1
Muito	9	5	0	0	0	11

Tabela 44: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 1; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Foi difícil apanhar os objectos	Foi difícil percorrer os corredores	Foi difícil entrar nas entradas	Sentiu-se tonto durante o jogo	Sentiu desconforto	Teve enjoo
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	2	2	2	1	1	1
5	1	1	1	1	2	1
6	2	2	2	1	3	1
7	1	1	1	1	1	1
8	2	2	2	2	2	2
9	2	2	1	1	1	1
10	2	2	2	1	2	1
11	1	2	2	2	2	1
12	1	1	1	2	1	1
Pouco	7	6	7	9	7	11
Normal	5	6	5	3	4	1
Muito	0	0	0	0	1	0

Tabela 45: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 2; 1-> Pouco, 3-> Muito



---

Utilizador	Teve dor de cabeça	Teve sonolência	Teve visão desfocada	Teve dificuldade em focar	Sentiu-se fatigado	Teve dificuldade em concentrar-se
1	1	1	2	1	1	2
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	2	2
7	1	1	2	1	1	1
8	1	1	2	2	2	2
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	2	1	2
11	1	1	1	1	2	1
12	1	1	2	2	1	1
Pouco	12	12	8	9	9	8
Normal	0	0	4	3	3	4
Muito	0	0	0	0	0	0

Tabela 46: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 2; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Sentiu-se desorientado durante o jogo	Sentiu que se movimentava em círculos	Tinha noção do sítio onde se encontrava	Sabia onde se dirigir a seguir	Sabia onde se dirigir de modo a apanhar os objectos que faltavam	Gostou de jogar
1	2	2	2	2	2	3
2	2	2	1	1	1	2
3	2	2	2	2	2	3
4	2	3	2	2	2	3
5	2	2	1	2	2	3
6	2	2	2	2	2	3
7	2	2	2	2	2	3
8	2	2	3	2	2	3
9	2	3	2	2	2	3
10	2	1	2	2	2	3
11	3	2	2	1	1	3
12	2	2	2	2	2	3
Pouco	0	1	2	2	2	0
Normal	11	9	9	10	10	1
Muito	1	2	1	0	0	11

Tabela 47: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 2; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Foi difícil apanhar os objectos	Foi difícil percorrer os corredores	Foi difícil entrar nas entradas	Sentiu-se tonto durante o jogo	Sentiu desconforto	Teve enjoo
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	1
3	2	1	1	2	1	1
4	2	3	2	1	2	1
5	1	1	1	2	1	1
6	2	1	2	1	2	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	2	2	1
9	2	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
11	2	2	2	1	1	1
12	1	2	1	1	1	1
Pouco	7	9	9	8	8	12
Normal	5	2	3	4	4	0
Muito	0	1	0	0	0	0

Tabela 48: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 3; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Teve dor de cabeça	Teve sonolência	Teve visão desfocada	Teve dificuldade em focar	Sentiu-se fatigado	Teve dificuldade em concentrar-se
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	2	2	2	1
4	1	1	2	1	1	2
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	2	2	2	2
7	1	1	1	2	1	1
8	1	2	2	2	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	1	2	2	2	1	1
11	1	1	1	1	1	2
12	1	1	1	1	1	2
Pouco	12	10	7	7	10	8
Normal	0	2	5	5	2	4
Muito	0	0	0	0	0	0

Tabela 49: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 3; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Sentiu-se desorientado durante o jogo	Sentiu que se movimentava em círculos	Tinha noção do sítio onde se encontrava	Sabia onde se dirigir a seguir	Sabia onde se dirigir de modo a apanhar os objectos que faltavam	Gostou de jogar
1	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2
3	2	2	2	1	2	2
4	3	3	2	2	2	3
5	2	2	2	2	1	2
6	3	2	2	2	2	2
7	2	2	3	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2
9	1	2	2	2	2	2
10	2	2	2	2	2	2
11	2	2	2	1	1	2
12	2	2	2	2	2	2
Pouco	1	0	0	2	2	0
Normal	9	11	11	10	10	11
Muito	2	1	1	0	0	1

Tabela 50: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 3; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Foi difícil apanhar os objectos	Foi difícil percorrer os corredores	Foi difícil entrar nas entradas	Sentiu-se tonto durante o jogo	Sentiu desconforto	Teve enjoo
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	2	3	2	1	2	1
5	1	1	1	1	1	1
6	2	2	1	1	2	1
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	2	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
11	1	2	2	1	2	1
12	2	1	1	1	1	1
Pouco	8	9	10	12	9	12
Normal	4	2	2	0	3	0
Muito	0	1	0	0	0	0

Tabela 51: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 4; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Teve dor de cabeça	Teve sonolência	Teve visão desfocada	Teve dificuldade em focar	Sentiu-se fatigado	Teve dificuldade em concentrar-se
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	2	2	1	2
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	2	2	2	2
7	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
11	1	2	2	2	2	1
12	1	1	1	1	1	1
Pouco	12	11	9	9	10	10
Normal	0	1	3	3	2	2
Muito	0	0	0	0	0	0

Tabela 52: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 4; 1-> Pouco, 3-> Muito

---

Utilizador	Sentiu-se desorientado durante o jogo	Sentiu que se movimentava em círculos	Tinha noção do sítio onde se encontrava	Sabia onde se dirigir a seguir	Sabia onde se dirigir de modo a apanhar os objectos que faltavam	Gostou de jogar
1	2	2	2	2	2	3
2	1	2	2	1	2	3
3	2	2	2	2	2	3
4	3	3	2	2	2	3
5	3	2	1	1	1	2
6	2	2	2	2	2	2
7	2	2	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2
9	3	3	2	2	2	3
10	2	2	2	2	2	3
11	2	2	2	2	2	3
12	2	2	2	2	2	3
Pouco	1	0	1	2	1	0
Normal	8	10	11	10	11	4
Muito	3	2	0	0	0	8

Tabela 53: Resultados quanto à satisfação na Experiência 4 – treino 4; 1-> Pouco, 3-> Muito



---

## Resultados quanto à performance

Utilizador	Treino 1							
	Desktop				HMD			
	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
1	21	168	409	5,76	18	164	338	4,07
2	21	136	404	6,03	19	211	361	4,34
3	20	159	494	5,95	18	193	362	4,36
4	19	151	426	5,13	15	135	289	3,48
5	20	166	473	5,7	19	200	357	4,3
6	21	87	277	5,65	17	169	309	3,72
7	20	152	452	5,45	18	164	367	4,42
8	21	142	428	5,87	13	185	356	4,29
9	21	108	348	5,44	12	156	262	3,79
10	18	163	392	4,72	13	223	340	4,1
11	20	148	432	5,2	19	185	341	4,11
12	21	101	337	5,26	17	77	271	3,27
Média	20,25	140,0833	406	5,513333	16,5	171,8333	329,4167	4,020833
Mediana	20,5	149,5	417,5	5,55	17,5	177	340,5	4,105

Tabela 54: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 1

---

	Treino 2							
	Desktop				HMD			
Utilizador	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
1	20	165	456	5,5	20	140	371	4,47
2	20	200	499	6,02	19	167	378	4,55
3	21	101	337	5,26	17	77	271	3,37
4	20	127	419	5,05	18	142	304	3,66
5	17	177	465	5,6	18	206	398	4,8
6	21	111	356	6,04	19	124	348	4,19
7	21	137	406	5,88	21	102	283	4,64
8	21	111	311	5,65	20	200	381	4,59
9	21	131	328	5,05	19	150	324	3,9
10	20	145	416	5,01	13	186	314	3,79
11	20	145	416	5,01	20	202	379	4,56
12	21	85	283	4,8	21	85	283	4,8
Média	20,25	136,25	391	5,405833	18,75	148,4167	336,1667	4,276667
Mediana	20,5	134	411	5,38	19	146	336	4,51

Tabela 55: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 2

---

	Treino 3							
	Desktop				HMD			
Utilizador	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
1	21	145	444	5,69	20	159	394	4,75
2	17	138	395	5,73	19	152	390	4,7
3	21	149	456	5,85	16	167	348	4,19
4	20	131	405	4,88	19	115	308	3,71
5	18	162	433	5,22	19	164	372	4,48
6	21	77	274	5,6	19	152	390	4,7
7	21	93	281	5,97	21	142	382	5,09
8	21	112	368	5,57	20	169	363	4,38
9	21	110	310	5,35	20	184	363	4,38
10	20	133	421	5,07	19	127	360	4,33
11	18	162	433	5,22	19	164	372	4,48
12	19	104	424	5,11	20	123	370	4,45
Média	19,83333	126,3333	387	5,438333	19,25	151,5	367,6667	4,47
Mediana	20,5	132	413	5,46	19	155,5	371	4,465

Tabela 56: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 3

---

	Treino 4							
	Desktop				HMD			
Utilizador	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel	Tot objs	Tot Col	Dist perc	Vel
1	21	142	428	5,87	21	125	366	4,82
2	21	108	348	5,44	21	154	355	4,55
3	21	125	377	5,8	21	107	268	5,7
4	20	133	421	5,07	19	127	360	4,33
5	21	111	311	5,65	20	200	381	4,59
6	21	94	294	5,99	20	184	381	4,59
7	20	134	466	5,62	20	125	368	4,44
8	21	137	406	5,88	21	102	283	4,64
9	19	168	452	5,44	18	178	360	4,33
10	21	111	356	6,04	19	124	348	4,19
11	18	149	385	4,64	16	177	336	4,05
12	18	149	385	4,64	16	177	336	4,05
Média	20,16667	130,0833	385,75	5,506667	19,33333	148,3333	345,1667	4,5233
Mediana	21	133,5	385	5,635	20	140,5	357,5	4,495

Tabela 57: Resultados quanto à performance na Experiência 4 – treino 4